



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN SISTEM *CABLE STAYED* DENGAN *TWO
VERTICAL PLANES SEMI HARP***

ASHANDO HARIO YUDHANTO
NRP. 3113 100 137

Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN SISTEM *CABLE STAYED* DENGAN *TWO
VERTICAL PLANES SEMI HARP***

ASHANDO HARIO YUDHANTO
NRP. 3113 100 137

Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**MODIFICATION DESIGN OF MAHAKAM BRIDGE USING
CABLE STAYED SYSTEM WITH TWO VERTICAL PLANES
OF SEMI HARP**

ASHANDO HARIO YUDHANTO
NRP. 3113 100 137

Advisor
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Civil Engineering And Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MAHAKAM
MENGUNAKAN SISTEM *CABLE STAYED* DENGAN
*TWO VERTICAL PLANES SEMI HARP***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Reguler Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ASHANDO HARIO YUDHANTO

Nrp. 3113 100 137

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D



SURABAYA, JULI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MAHAKAM MENGUNAKAN SISTEM CABLE STAYED DENGAN TWO VERTICAL PLANES SEMI HARP

Nama : Ashando Hario Yudhanto
NRP : 3113100137
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D

Abstrak

Jembatan cable-stayed merupakan salah satu jenis dari jembatan bentang panjang yaitu jembatan dengan bentang lebih dari 100 m. Jembatan jenis ini sudah banyak di bangun di seluruh penjuru dunia karena mampu menopang bentang yang panjang dan proses pembangunannya relatif cepat. Struktur cable-stayed terdiri atas gelagar utama yang berfungsi sebagai lantai kendaraan, kabel yang berfungsi untuk menopang gelagar utama dan menyalurkan beban dari gelagar utama ke pilon, dan pilon sebagai penahan beban dari kabel.

Pada tugas akhir ini membahas mengenai modifikasi Jembatan Mahakam. Jembatan ini memiliki panjang 400 m yang terbagi dalam 2 bentang utama dengan panjang 200 m dan 2 bentang tepi dengan masing-masing panjang 100 m. Konfigurasi kabel jembatan menggunakan semi harp pattern dengan posisi kabel two planes system. Jembatan memiliki lebar lantai kendaraan 17 m (4/UD), lantai kendaraan didesain lebar agar jembatan tahan terhadap efek aerodinamis.

Adapun hasil dari perencanaan ini struktur sekunder jembatan terdiri atas railing dengan profil baja hollow diameter 60,5, kerb dengan tebal 250 mm, pelat lantai kendaraan dengan tebal pelat beton 200 mm dan aspal 50 mm, dan gelagar yang terdiri dari gelagar melintang WF 1120.405.26.45, gelagar memanjang WF 400.300.9.14 , serta gelagar kantilever WF 440.150.6,5.14. untuk

sambungan gelagar sendiri menggunakan simple connection dengan pelat siku L. Sedangkan struktur utama terdiri atas gelagar utama yang menggunakan rectangular twin box girder 2500.1500.60.60, kemudian stay cable tersusun atas 7-wire strand berdiameter 15,2 mm dan pylon yang didesain menggunakan material beton bertulang dengan dimensi 4000 mm x 3000 mm dengan rongga didalamnya. Untuk permodelan struktur utama dan analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS/Civil dengan pembebanan statis dan dinamis, selanjutnya analisa metode pelaksanaan (staging analysis) menggunakan metode demolishing procedure melalui backward solution. Selanjutnya jembatan juga dianalisa stabilitas aerodinamis yang meliputi kontrol terhadap frekuensi alami, efek flutter, dan juga vortex-shedding.

Kata kunci : jembatan, cable stayed, semi harp pattern, two planes system, dek baja.

MODIFICATION DESIGN OF MAHAKAM BRIDGE USING CABLE STAYED SYSTEM WITH TWO VERTICAL PLANES OF SEMI HARP

Name : Ashando Hario Yudhanto
NRP : 3113100137
Department : Civil Engineering FTSP-ITS
Advisor : Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D

Abstract

The Cable-stayed bridge is one of the few types of the long-spans bridge with the existing length of the spans for more than 100 m. This kind of the bridge is already used and constructed all over the world because of its ability to sustain the lengthy span of the bridge as well as its advantageous process of the construction which relatively fast. Cable-stayed structures consist with main girder as the base for the vehicles, cable as the sustainer for the main girder and transfers the load from the main girder to pylon, and the pylon itself holds and sustain the load from the cable

The modification of Mahakam bridge will be discussed within this study. With the length of the bridge which is 400 m and divided into 2 main spans with the length of 200 m and 2 side spans consisting of 100 m each. The configuration of the cable is using semi harp pattern while the position of the cable is using two planes system. The width of the bridge's base plate for the vehicles is 17 m (4/UD), the width of base plate is designed widely and able to resist the aerodynamic effects.

These results suggest that the secondary structure of the bridge consists of the railing by using hollow steel profile with 60,5 diameters, kerb with 250 mm thick, base plate for vehicles by using 200 mm thick concrete plate and 50 mm thick asphalt, and beam which is consist of transversal beam by using WF 1120.405.26.45, longitudinal beam by using WF 400.300.9.14, as well as the

cantilever beam by using WF 440.150.6,5.14. The connection of the beam is using a simple connection with L-shapped plate. For the primary structure consist of main beam by using rectangular twin box girder with 2500.1500.60.60, for the stay cable is using 7-wire strand with the diameter of 15,2 mm and the pylon is designed using hollow reinforced concrete material with the dimensions of 4000 mm x 3000 m. To design the model and the analysis of the structure will be ease using MIDAS/Civil program with a static and dynamic load, and then proceed with the staging analysis with the method of demolishing procedure through backward solution. Where the Aerodynamic stability of the bridge will be analyzed with a certain control and restriction against the natural frequencies, flutter effect, as well as vortex-shedding

Keyword : bridge, cable stayed, semi harp pattern, two planes system, Steel deck.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Tuhan Semesta Alam atas segala rahmat dan karunia-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul : “Modifikasi Perencanaan Jembatan Mahakam Menggunakan Sistem *Cable Stayed* dengan *Two Vertical Planes Semi Harp*”

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini antara lain:

1. Tuhan YME yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menempuh pendidikan sehingga dapat menyusun laporan tugas akhir.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
3. Endah Wahyuni, S.T., M. Sc., Ph. D. sebagai dosen pembimbing yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Teman-teman CEITS 2013 yang mendukung dan membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
5. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan semuanya yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian laporan tugas akhir.

Dalam penyelesaian laporan ini masih terdapat kekurangan dan masih kurang sempurna sehingga diharapkan adanya kritik dan saran dari pembaca agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat menambah wawasan bagi para pembaca.

Surabaya, 20 Juli 2017

(penulis)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK IND	iii
ABSTRAK ENG	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Umum	7
2.1.1 Jenis-Jenis Jembatan Menurut Klasifikasinya	7
2.2 Jembatan Kabel	8
2.2.1 Kabel.....	10
2.2.2 Gelagar.....	19
2.2.3 Menara atau Pylon	26
2.2 Pembebanan	28
2.3.1 Pembebanan pada Struktur Sekunder.....	28
2.3.2 Pembebanan pada Struktur Utama.....	28
2.3.3 Kombinasi Beban.....	29

2.3 Stabilitas Aerodinamik	29
2.4 Metode Pelaksanaan	35
2.5.1 <i>Staging method</i>	35
2.5.2 <i>Push out method</i>	37
2.5.3 <i>Cantilever Method</i>	38
BAB III METODE PELAKSANAAN	41
3.1 Diagram Alir	41
3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur	42
3.3 Preliminary Design	42
3.3.1 Konfigurasi Susunan Kabel	42
3.3.2 Dimensi Kabel	44
3.3.3 Dimensi Gelagar Melintang	45
3.3.4 Dimensi Gelagar Memanjang	46
3.3.5 Dimensi Pylon	46
3.4 Desain Struktur Sekunder	48
3.4.1 Pelat Lantai Kendaraan	48
3.4.2 Railling Jembatan	49
3.4.3 Gelagar Memanjang	49
3.4.4 Gelagar Melintang	51
3.5 Analisis Statis Struktur Utama	53
3.6 Staggering Analysis	60
3.7 Desain Angker	60
3.7.1 Desain angker pada gelagar	60
3.7.2 Desain angker pada <i>pylon</i>	61
3.8 Analisis Dinamis	62
3.8.1 <i>Efek Vortex-Shedding</i> (Pusaran Angin)	62

3.8.2 <i>Efek Flutter</i> (Efek Ayun)	63
3.9 Kontrol Stabilitas	64
3.10 Pengerjaan Gambar	65
BAB IV PERHITUNGAN dan PEMBAHASAN	67
4.1 Preliminary Design	67
4.1.1 Gelagar	67
4.1.2 Box girder	69
4.1.3 Kabel	70
4.1.4 Struktur <i>Pylon</i>	81
4.2 Struktur Sekunder	84
4.2.1 Pipa Sandaran	84
4.2.2 Tiang Sandaran	87
4.2.3 Pelat Lantai Kendaraan	89
4.2.4 Trotoar	96
4.3 Gelagar	101
4.3.1 Gelagar Memanjang	101
4.3.3 Gelagar Kantilever	128
4.4 Permodelan dan Analisa Struktur	141
4.4.1 Permodelan Struktur	141
4.4.2 Analisa Statis	143
4.4.3 Analisa Dinamis	149
4.4.4 Analisa <i>Staging</i>	154
4.5 Box Girder	164
4.5.1 Perencanaan Box Girder	164
4.5.2 Hasil Analisa Struktur	165
4.5.3 Kontrol Kemampuan penampang	166

4.5.4 Hasil Analisa Struktur saat Kabel Putus	173
4.5.5 Kontrol Kemampuan penampang saat Kabel Putus	173
4.5.6 Sambungan Box	179
4.6 Struktur Kabel	185
4.6.1 Data Perencanaan	185
4.6.2 Gaya <i>Stressing</i>	186
4.6.3 Analisa Penampang Kabel.....	189
4.6.4 Perhitungan Anker pada Box	190
4.7 Struktur <i>Pylon</i>	195
4.7.1 Kolom <i>Pylon</i>	196
4.7.2 <i>Upper cross beam</i>	207
4.7.3 <i>Lower cross beam</i>	215
4.7.4 Perhitungan Angker pada <i>Pylon</i>	224
4.8 Perilaku Dinamis	229
4.8.1 Frekuensi Alami	229
4.8.2 Efek Pusaran Angin (<i>Vortex-Shedding</i>)	234
4.8.3 Efek Ayunan (<i>Flutter</i>)	239
4.9 Desain Perletakan	244
4.9.1 Desain Pot Bearing	244
BAB V KESIMPULAN dan SARAN	247
5.1 Kesimpulan.....	247
5.2 Saran.....	249
DAFTAR PUSTAKA.....	251
LAMPIRAN	253

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Jembatan Mahakam.....	1
Gambar 1. 2 Tampak samping kondisi existing jembatan Mahakam	2
Gambar 1. 3 Tampak atas existing jembatan Mahakam	2
Gambar 1. 4 Potongan melintang existing jembatan Mahakam ..	2
Gambar 2. 1 Basic load transfer pada cable-stayed. (Chen dan Duan, 2014).....	9
Gambar 2. 2 Susunan cable stayed two-span.....	9
Gambar 2. 3 Susunan cable stayed three-span.....	10
Gambar 2. 4 Susunan cable stayed multi-span	10
Gambar 2. 5 Susunan kabel single plane	11
Gambar 2. 6 Susunan kabel double planes	12
Gambar 2. 7 Susunan kabel two inclined planes system	12
Gambar 2. 8 Susunan kabel assymetrical planes system	12
Gambar 2. 9 Susunan kabel fan pattern	13
Gambar 2. 10 Susunan kabel harp pattern	14
Gambar 2. 11 Susunan kabel semi-harp pattern	14
Gambar 2. 12 Susunan kabel assymetric pattern	15
Gambar 2. 13 Konfigurasi kabel (Haldania R,2007)	16
Gambar 2. 14 Parallel-bar Cables	17
Gambar 2. 15 Parallel-wire Cables	17
Gambar 2. 16 Stranded Cables	18
Gambar 2. 17 Locked-coil Cables	18
Gambar 2. 18 Penampang gelagar utama beton (Walther, 1999)	20
Gambar 2. 19 Penampang gelagar utama baja (Walther, 1999) ..	22
Gambar 2. 20 Gelagar komposit pada jembatan cable stayed (Brockenbrough and Merrit, 2011)	24
Gambar 2. 21 Penampang gelagar utama komposit (Walther, 1999).....	24
Gambar 2. 22 Konstruksi gelagar sistem A. (Gimsing, 1983)...	25
Gambar 2. 23 Konstruksi gelagar sistem B. (Gimsing, 1983) ...	25

Gambar 2. 24. Konstruksi gelagar sistem C. (Gimsing, 1983).....	26
Gambar 2. 25. Tipe-tipe menara jembatan cable-stayed. (Brockenbrough and Merrit, 2011).....	27
Gambar 2. 26 <i>Tinggi optimum</i> pylon.	27
Gambar 2. 27. Gerak torsi Jembatan Tacoma sesaat sebelum runtuh, 7 Nopember 1940. (Soegihardjo, 2007)	30
Gambar 2. 28. Keruntuhan jembatan Tacoma. (Soegihardjo, 2007)	30
Gambar 2. 29 Gaya T, N, dan M akibat angin (Walther, 1999).31	
Gambar 2. 30. . Koefisien C_T , C_N , dan C_M	32
Gambar 2. 31 Proses terbentuknya pusaran angin. (Troitsky, 1988).....	32
Gambar 2. 32. Deskripsi Fenomena <i>Flutter</i> (Walther, 1999)	34
Gambar 2. 33. Prosedur pelaksanaan <i>Staging Method</i> . (Soegihardjo, 2007)	36
Gambar 2. 34. Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out. (Soegihardjo, 2007)	37
Gambar 2. 35. Metode pelaksanaan kantilever	38
Gambar 2. 36. Metode pelaksanaan kantilever (Gimsing dan T. Christos , 2012).	39
Gambar 2. 37. Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan. (Gimsing, 1983).....	39
Gambar 3. 1. Diagram alir perencanaan	41
Gambar 3. 2. Susunan kabel three-Span	42
Gambar 3. 3. Susunan kabel Semi Harp Pattern	43
Gambar 3. 4. Susunan kabel Two Vertical Planes System	43
Gambar 3. 5. <i>Tinggi optimum</i> pylon.....	44
Gambar 3. 6. Twin Box Girder	46
Gambar 3. 7. Bentuk pylon menggunakan bentuk Twin Tower	47
Gambar 3. 8. Model gambar perhitungan	48
Gambar 3. 9. Model gambar perhitungan control geser.....	49
Gambar 3. 10. Model gambar perhitungan beban mati gelagar.	50
Gambar 3. 11. Model gambar perhitungan beban lalu lintas gelagar.	50

Gambar 3. 12. Permodelan menggunakan MIDAS/CIVIL	53
Gambar 3. 13 Beban Lajur “D”	55
Gambar 3. 14. Beban truk.....	56
Gambar 3. 15 Faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D”	57
Gambar 3. 16 Daerah umum pada penampang persegi	62
Gambar 3. 17 Representasi sederhana <i>flutter</i> pada lantai kendaraan jembatan.....	64
Gambar 3. 18. Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$. (Walther dkk, 1999)	64
Gambar 4. 1 Preliminary Box Girder.....	69
Gambar 4. 2 Penampang Melintang Dek (dalam meter)	70
Gambar 4. 3 Susunan Kabel Arah Memanjang Berupa Semi- Harp Pattern (dalam meter)	71
Gambar 4. 4 Susunan Kabel Arah Melintang Berupa Double Planes System (dalam meter)	72
Gambar 4. 5 Tataan sistem kabel dan penamaan kabel	73
Gambar 4. 6 Reaksi gelagar melintang yang dipikul kabel	74
Gambar 4. 7 Tataan sistem kabel.....	80
Gambar 4. 8 Dimensi Penampang Pylon (Menara)	83
Gambar 4. 9 Tiang sandaran	84
Gambar 4. 10 Profil dan gaya pipa sandaran	84
Gambar 4. 11 Panampang Pipa Sandaran	86
Gambar 4. 12 Pelat lantai kendaraan	90
Gambar 4. 13 Tampak samping ilustrasi Geser Pons	94
Gambar 4. 14 Tampak atas ilustrasi Geser Pons.....	95
Gambar 4. 15 Trotoar.....	96
Gambar 4. 16 Gelagar memanjang jembatan.....	101
Gambar 4. 17 Faktor Beban Dinamis (SNI 1725:2016 Gambar 28).....	102
Gambar 4. 18 Titik Momen pada Gelagar Memanjang	106
Gambar 4. 19 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi.....	108
Gambar 4. 20 Pelat penyambung	111

Gambar 4. 21	Detail sambungan gelagar memanjang ke gelagar melintang	112
Gambar 4. 22	Detail sambungan gelagar memanjang.	113
Gambar 4. 23	Detail sambungan potongan tampak samping ...	113
Gambar 4. 24	Pembebanan truk tipe 1	115
Gambar 4. 25	Pembebanan truk tipe 2	115
Gambar 4. 26	Gambar diagram profil	121
Gambar 4. 27	Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi	122
Gambar 4. 28	Pelat penyambung	125
Gambar 4. 29	Detail sambungan gelagar melintang ke box girder	127
Gambar 4. 30	Detail sambungan potongan tampak samping ...	127
Gambar 4. 31	Detail sambungan gelagar memanjang.	128
Gambar 4. 32	Gelagar memanjang jembatan	129
Gambar 4. 33	Pelat penyambung	135
Gambar 4. 34	Pelat penyambung	138
Gambar 4. 35	Detail sambungan gelagar kantilever	140
Gambar 4. 36	Detail sambungan potongan tampak samping ...	140
Gambar 4. 37	Tampak perspektif jembatan	141
Gambar 4. 38	Tampak memanjang jembatan	141
Gambar 4. 39	Tampak melintang jembatan	142
Gambar 4. 40	Tampak atas jembatan	142
Gambar 4. 41	Tampak melintang dek jembatan	142
Gambar 4. 42	Ilustrasi beban rem berupa gaya horizontal dan momen torsi	144
Gambar 4. 43	Ilustrasi beban angin kendaraan menjadi momen torsi	146
Gambar 4. 44	Konfigurasi beban hidup	147
Gambar 4. 45	Grafik <i>Response Spectrum</i> tanah lunak hasil desain www.pusjatan.pu.go.id	151
Gambar 4. 46	Grafik <i>Response Spectrum</i> hasil desain MIDAS	151
Gambar 4. 47	From traveler yang digunakan	155

Gambar 4. 48 Spesifikasi form traveler (memanjang-melintang)	156
Gambar 4. 49 Permodelan dan input beban pada form traveler	156
Gambar 4. 50 Hasil analisa reaksi pada form traveler	156
Gambar 4. 51 Gaya tarik awal tiap kabel	157
Gambar 4. 52 Segmental deck untuk staging analysis pada	158
Gambar 4. 53 Detail gelagar utama (satuan m)	164
Gambar 4. 54 Analisa section data dan section properties	165
Gambar 4. 55 Penampang box	169
Gambar 4. 56 Kordinat box	170
Gambar 4. 57 Asumsi 1 kabel putus	173
Gambar 4. 58 Sambungan gelagar utama pada badan	183
Gambar 4. 59 Sambungan gelagar utama pada sayap	184
Gambar 4. 60 Tampak melintang sambungan box	184
Gambar 4. 61 Tataan system kabel dan penamaan kabel	185
Gambar 4. 62 Cable force tuning	187
Gambar 4. 63 Gambar anker pada deck	191
Gambar 4. 64 Detail anker VSL SSI 2000 untuk deck	191
Gambar 4. 65 Pelat anker tendon	193
Gambar 4. 66 Penampang Pylon (satuan dalam cm)	195
Gambar 4. 67 Section properties penampang kolom	196
Gambar 4. 68 Koordinat kolom pylon	196
Gambar 4. 69 Desain penampang dan tulangan longitudinal pylon pada program bantu spColumn	200
Gambar 4. 70 Grafik diagram interaksi SpColumn arah Z	201
Gambar 4. 71 Grafik diagram interaksi SpColumn arah Y	201
Gambar 4. 72 Desain penulangan kolom pylon	207
Gambar 4. 73 Koordinat Upper cross beam	207
Gambar 4. 74 Section properties penampang <i>Upper cross beam</i>	208
Gambar 4. 75 Desain penampang dan tulangan longitudinal balok pada program bantu spColumn	209
Gambar 4. 76 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X	209
Gambar 4. 77 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X	210

Gambar 4. 78	Desain penulangan Upper cross beam	215
Gambar 4. 79	Koordinat Lower cross beam	215
Gambar 4. 80	Section properties penampang <i>Lower cross beam</i>	216
Gambar 4. 81	Desain penampang dan tulangan longitudinal balok pada program bantu spColumn	217
Gambar 4. 82	Grafik diagram interaksi SpColumn arah X.....	217
Gambar 4. 83	Grafik diagram interaksi SpColumn arah X.....	218
Gambar 4. 84	Desain penulangan Lower cross beam	223
Gambar 4. 85	Darah angker pada pylon	224
Gambar 4. 86	Dimensi angkur	224
Gambar 4. 87	Detail angker VSL SSI 2000	225
Gambar 4. 88	Titik berat deck	230
Gambar 4. 89	Mode frekuensi lentur f_B	231
Gambar 4. 90	Mode frekuensi torsi f_T	232
Gambar 4. 91	Grafik f_B dan f_T	233
Gambar 4. 92	Macam penampang deck.....	235
Gambar 4. 93	Koefisien C_N	236
Gambar 4. 94	Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan amplitudo	238
Gambar 4. 95	Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan percepatan.....	239
Gambar 4. 96	Efek Flutter dengan perbedaan fase $\pi/2$	240
Gambar 4. 97	Kecepatan kritis teoritis untuk flutter	242
Gambar 4. 98	Grafik Koefisien Koreksi	243
Gambar 4. 99	Layout penempatan perletakan.....	244
Gambar 4. 100	Unidirectional pot bearing.....	244
Gambar 4. 101	Pot bearing tampak atas	245

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penampang gelagar beton (Troitsky,1988).....	21
Tabel 2. 2 Penampang gelagar baja (Troitsky,1988)	23
Tabel 3. 1. Tabel berat jenis elemen	54
Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Beban Sendiri.....	54
Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Sendiri.....	55
Tabel 3. 4 Faktor untuk Beban Lajur “D”	55
Tabel 3. 5 Faktor Beban untuk Beban “T”	56
Tabel 3. 6 Nilai V_0 dan Z_0	58
Tabel 3. 7 Tekanan angin dasar	58
Tabel 3. 8 Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.	59
Tabel 4. 1 Jenis Kabel dan Anker	73
Tabel 4. 2 Perhitungan penampang dan jumlah strand kabel	78
Tabel 4. 3 Perhitungan penampang dan jumlah strand kabel	79
Tabel 4. 4 Perhitungan modulus elastisitas ekuivalen	81
Tabel 4. 5 Perhitungan gaya aksial pada pylon	82
Tabel 4. 6 Nilai V_0 dan Z_0 untuk variasi kondisi permukaan hulu	145
Tabel 4. 7 Tabel kombinasi beban dan faktor beban	146
Tabel 4. 8 Kombinasi pembebanan statik.....	147
Tabel 4. 9 Hasil analisa struktur static box girder	148
Tabel 4. 10 Hasil analisa struktur static pylon.....	148
Tabel 4. 11 Hasil analisa struktur static upper cross beam	149
Tabel 4. 12 Nilai koefisien gempa	150
Tabel 4. 13 Kombinasi pembebanan dimanis.....	152
Tabel 4. 14 Hasil analisa struktur dinamis box girder	152
Tabel 4. 15 Hasil analisa struktur dinamis pylon.....	153
Tabel 4. 16 Hasil analisa struktur static upper cross beam	153
Tabel 4. 17 Hasil analisa struktur static lower cross beam	153
Tabel 4. 18 Spesifikasi Form Traveler	155
Tabel 4. 19 Konfigurasi pembebanan untuk staging analysis..	158
Tabel 4. 20 Hasil analisa staging box girder.....	163
Tabel 4. 21 Hasil analisa staging pylon	163

Tabel 4. 22 Hasil analisa staging upper cross beam	163
Tabel 4. 23 Hasil analisa staging lower cross beam	163
Tabel 4. 24 Gaya dalam pada gelagar utama	165
Tabel 4. 25 Gaya dalam pada gelagar utama saat kabel putus..	173
Tabel 4. 26 Jenis kabel.....	185
Tabel 4. 27 Perhitungan penampang dan jumlah strand kabel .	186
Tabel 4. 28 Gaya kabel akibat pretension 1 kN (tunning cable)	187
Tabel 4. 29 Kebutuhan luas penampang kabel akibat pretension 1 kN	188
Tabel 4. 30 Gaya masing-masing kabel.....	188
Tabel 4. 31 Kebutuhan luas penampang kabel sebenarnya (A_{pakai})	189
Tabel 4. 32 Gaya kabel sebenarnya (P)	189
Tabel 4. 33 Kontrol kemampuan kabel dari A_{spakai}	190
Tabel 4. 34 Spesifikasi teknis anker VSL SSI 2000 untuk deck	191
Tabel 4. 35 Perhitungan angker keseluruhan	193
Tabel 4. 36 Hasil analisa gaya tarik dari Aaktual	225
Tabel 4. 37 Spesifikasi angker VSL SSI 2000.....	225
Tabel 4. 38 Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di pylon.....	227
Tabel 4. 39 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengangkuran	228
Tabel 4. 40 Nilai f_B dan f_T	233
Tabel 4. 41 Kapasitas unidirectional pot bearing dengan tipe PU 1120/800/H2 EN.....	245

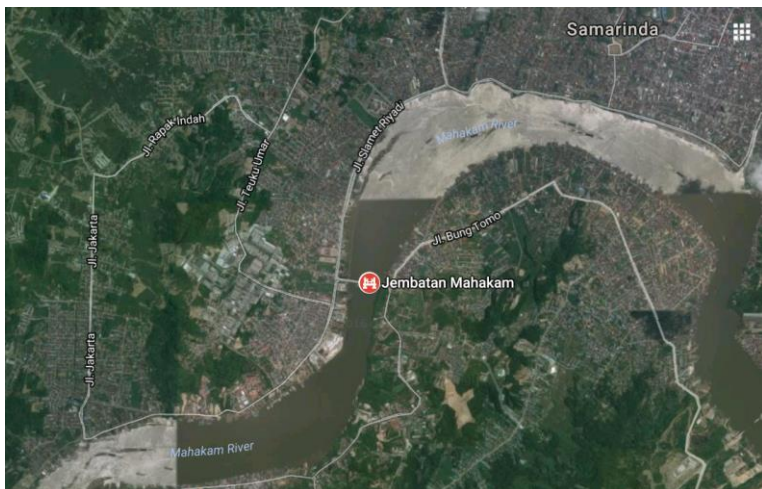
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

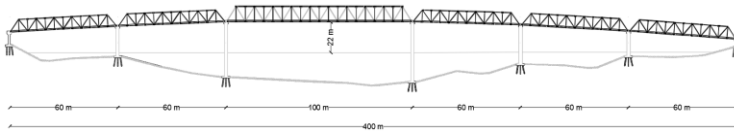
Transportasi merupakan alat yang sangat penting dalam perkembangan pada era global saat ini. Salah satu usaha yang menunjang transportasi adalah pembangunan infrastruktur jembatan. Dalam meningkatkan dan menunjang sarana transportasi keadaan, jembatan harus dalam kondisi baik. Kondisi jembatan yang kurang baik dapat menghambat kelancaran transportasi bukan hanya transportasi darat tetapi juga transportasi sungai. Contohnya Jembatan Mahakam, jembatan telah beberapa kali mengalami perbaikan pada bagian pilar karena kerusakan akibat tertabrak oleh kapal yang melintas di Sungai Mahakam.

Jembatan Mahakam terletak di wilayah Kota Samarinda yang menghubungkan Samarinda Kota dengan Samarinda Seberang

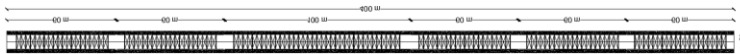


Gambar 1. 1 Lokasi Jembatan Mahakam

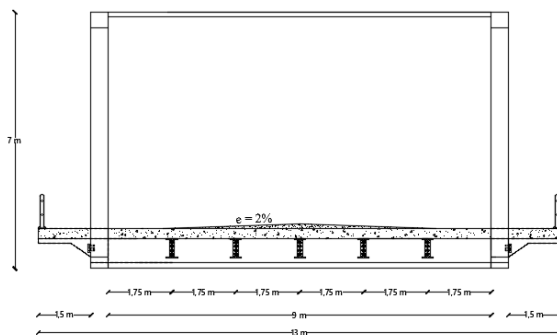
Kondisi saat ini jembatan Mahakam merupakan jembatan dengan konstruksi rangka batang. Panjang total jembatan 400 m, jembatan ini dibagi menjadi 6 bagian dengan 7 pilar, lima bagian dengan panjang 60 m dan satu bagian dengan panjang 100 m serta lebar lantai kendaraannya 13 m.



Gambar 1. 2 Tampak samping kondisi *existing* jembatan Mahakam



Gambar 1. 3 Tampak atas existing jembatan Mahakam



Gambar 1. 4 Potongan melintang existing jembatan Mahakam

Dengan meningkatnya volume lalu lintas saat ini, keadaan dari Jembatan Mahakam sebagai jembatan utama di Kota Samarinda sangatlah perlu diperhatikan, dengan kondisi jembatan yang masih menggunakan bentang pendek sehingga masih menggunakan banyak pilar. Jembatan Mahakam yang sampai saat ini menjadi ikon Kota Samarinda juga terkesan kurang memiliki estetika dan kurang efektif karena desain jembatan masih menggunakan rangka batang.

Penggunaan banyak pilar mengakibatkan berkurangnya *effective linier waterway* pada sungai. Dengan berkurangnya *effective linier waterway* akan menyulitkan jika ada kapal yang akan melintas di bawah jembatan. Maka sebaiknya perlu diadakan modifikasi pada lantai kendaraan dan pilar sehingga tersedia ruang bebas untuk *effective linier waterway*. Dengan adanya ruang bebas yang lebar pada bagian bawah jembatan kemungkinan terjadinya tabrakan pada pilar dapat dihindarkan.

Maka dari itu perlu adanya modifikasi desain Jembatan Mahakam yang tidak terlalu mengurangi *effective linier waterway* dan mempunyai nilai estetika yang tinggi. Desain yang tepat memiliki nilai estetika yang tinggi adalah dengan desain jembatan bentang panjang, menggunakan sistem *cable stayed*.

Dalam tugas akhir ini, Jembatan Mahakam akan direncanakan sebagai jembatan *cable stayed*, dengan desain jembatan ini akan didapat manfaat yang dapat mengatasi permasalahan diatas. Manfaat dari desain ini adalah dapat meminimalkan kebutuhan pilar sehingga *effective linier waterway* semakin panjang. Selain itu, adalah nilai estetika yang didapat dari komposisi desain lantai kendaraan, susunan kabel, dan desain *pylon* sehingga kedepannya Jembatan Mahakam bisa menjadi salah ikon kebanggaan untuk masyarakat Kota Samarinda dan Kalimantan Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, dalam perencanaan struktur jembatan Mahakam permasalahan yang ditinjau adalah

1. Bagaimana perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi ?
2. Bagaimana merencanakan *preliminary design* jembatan *cable stayed* ?
3. Bagaimana merencanakan gelagar, kabel, dan *pylon* ?
4. Bagaimana permodelan dan analisa struktur dalam perencanaan jembatan ini ?
5. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan utama pada tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan suatu konstruksi jembatan dengan sistem *cable stayed*, adapun tujuan detailnya adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan perubahan dari denah dan tampak jembatan setelah modifikasi
2. Dapat merencanakan *preliminary design* jembatan *cable stayed*
3. Dapat merencanakan gelagar, kabel, dan *pylon*
4. Dapat memodelkan dan menganalisa struktur dalam perencanaan jembatan ini
5. Mengetahui hasil akhir dari perencanaan modifikasi ini

1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, karena keterbatasan kemampuan dan waktu, maka lingkup bahasan yang akan dianalisa hanya mencakup perencanaan struktur atas jembatan *cable stayed* serta tanpa membahas antara lain :

1. Jalan pendekat jembatan
2. Perkerasan jalan di jembatan
3. Anggaran biaya

1.5 Manfaat

Penyusunan tugas akhir ini memberikan beberapa manfaat antara lain :

- Umum
 1. Sebagai referensi dalam melakukan desain jembatan dengan menggunakan sistem *cable stayed*
 2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait
- Bagi Penulis
 1. Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan, terutama untuk bentang panjang
 2. Sebagai evaluasi penguasaan ilmu keteknik sipil terkait desain jembatan selama kuliah
 3. Menambah wawasan dan pengetahuan akan ilmu desain jembatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan atau daerah yang terputus yang disebabkan adanya halangan atau rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran drainase, saluran irigasi, jalan kereta, jalan raya, dll.

Manusia mulai menggunakan jembatan sejak zaman purba, dulu pertama kali yang digunakan manusia adalah berupa jembatan alami, seperti pohon tumbang yang melintasi rintangan (jembatan balok sederhana) (Ma'arif, 2012). Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi struktur jembatan terus mengalami kemajuan yang pesat.

2.1.1 Jenis-Jenis Jembatan Menurut Klasifikasinya

Jembatan sesuai klasifikasinya dapat dikelompokkan menjadi :

2.1.1.1 Menurut Kegunaan

1. Jembatan jalan raya (*higway bridge*)
2. Jembatan pejalan kaki (*footh path*)
3. Jembatan kereta api (*railway bridge*)
4. Jembatan jalan air
5. Jembatan jalan pipa
6. Jembatan penyebrangan

2.1.1.2 Menurut Jenis Materialnya

1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
2. Jembatan kayu
3. Jembatan baja
4. Jembatan beton bertulang dan pratekann
5. Jembatan komposit

2.1.1.3 Menurut Sistem Struktur

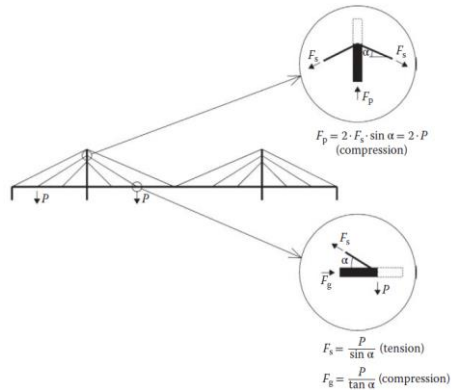
1. Jembatan dengan tumpuan sederhana (*simply supported bridge*)
2. Jembatan menerus (*continuous bridge*)
3. Jembatan kantilever (*cantilever bridge*)
4. Jembatan integral (*integral bridge*)
5. Jembatan semi integral (*semi integral bridge*)
6. Jembatan pelengkung tiga sendi (*arches bridge*)
7. Jembatan rangka (*trusses bridge*)
8. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
9. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
10. Jembatan urung-urung (*culverts bridge*)

2.1.1.4 Menurut Panjang Bentangnya (Barker and Puckett, 2007)

1. *Small-Span Bridge* (< 15 m)
2. *Medium-Span Bridge* (< 75 m)
3. *Large-Span Bridge* (75 m – 150 m)
4. *Extra Large Span-Bridge* (> 150 m)

2.2 Jembatan Kabel

Salah satu jenis jembatan bentan panjang yang dapat ditemui adalah jembatan kabel. Bangunan atas jembatan *cables stayed* terdiri dari gelagar, *pylon*, kabel, lantai kendaraan, dan *railing*. Sedangkan bangunan bawah berupa abutmen, pilar, dan pondasi. Jembatan utama menerima beban vertical dan ditransfer secara lokal oleh gelagar/*stiffening girder* untuk mendukung elastisitas yang disediakan oleh kabel-kabel, kemudian tegangan tersalurkan dari kabel menuju *pylon*, sedangkan *pylon* berperan menyalurkan beban yang diterima dari kabel akibat beban pada lantai kendaraan ke pondasi berupa gaya aksial.



Gambar 2. 1 Basic load transfer pada cable-stayed. (Chen dan Duan, 2014)

Keuntungan penggunaan jembatan jenis ini antara lain (Svensson, 2011)

1. Dengan adanya transfer beban oleh struktur kabel maka besarnya momen tekuk dapat berkurang.
2. Proses konstruksi jembatan kabel relative mudah.
3. Jembatan kabel lebih kaku dibanding dengan jembatan gantung.

Jembatan cable stayed ditinjau dari rintangan yang akan diseberangi dan lokasi, bentang jembatan dapat didesain dalam: (Walther, 1999)

1. Two-span

Susunan *two span* terdiri dari bentang utama dan bentang dengan sisi lebih pendek (juga disebut back span)



Gambar 2. 2 Susunan cable stayed two-span

2. *Three-span*

Susunan *three-span* merupakan susunan yang paling umum, terdiri dari bentang utama dan dua bentang utama atau kurang.



Gambar 2. 3 Susunan *cable stayed three-span*

3. *Multi-span*

Susunan *multi-span* memiliki beberapa bentang utama dan bentang sisi dikedua ujung jembatan



Gambar 2. 4 Susunan *cable stayed multi-span*

2.2.1 Kabel

Sistem kabel merupakan salah satu hal mendasar dalam perencanaan jembatan *cable stayed*. Kabel digunakan untuk menopang gelagar diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke Menara/*pylon*.

2.2.1.1 Susunan Kabel

Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai tatanan kabel transversal dan longitudinal. Pemilihan tatanan kabel tersebut

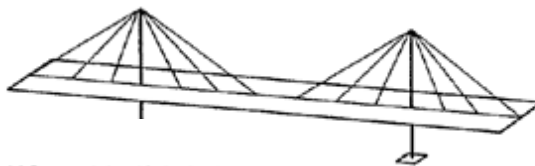
didasarkan atas berbagai hal karena akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara/*pylon* dan tampang gelagar. Selain itu akan berpengaruh pula pada metode pelaksanaan biaya dan arsitektur jembatan.

1. Kabel Transversal

Tatanan kabel transversal atau kabel melintang terhadap area sumbu longitudinal jembatan dapat dibuat satu atau dua bidang dan sebaliknya ditempatkan secara simetri. Susunan arah melintang dapat dibedakan menjadi : (Walther, 1999)

a) *Single Plane System*

Pada konfigurasi *single plane* kabel yang digunakan disusun pada titik tengah struktur arah melintang yang akan menyebabkan terjadinya beban eksentrik pada gelagar utama. Oleh karena itu pada konfigurasi ini dibutuhkan gelagar utama yang cukup kaku

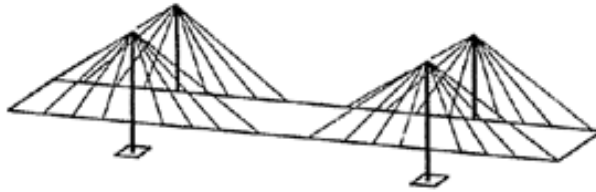


Gambar 2. 5 Susunan kabel *single plane*

b) *Two Planes System*

- *Two Vertical Planes System*

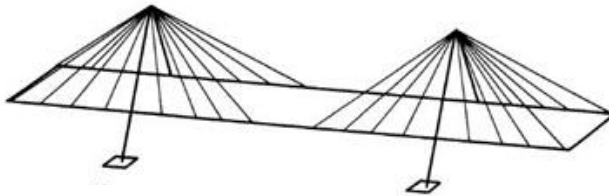
Tipe ini memiliki sistem dua kabel paralel dan Menara berada diatas masing-masing sisi jembatan yang terletak di bidang vertical yang sama



Gambar 2. 6 Susunan kabel *double planes*

- *Two Inclined Planes System*

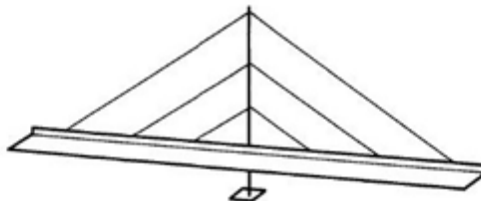
Tipe ini memiliki sistem dua kabel dengan menara berbentuk A dan kabel-kabel terletak di bidang vertical.



Gambar 2. 7 Susunan kabel *two inclined planes system*

c) *Assymetrical Planes System*

Tipe ini memiliki sistem yang tidak simetris dan menekankan pada nilai estetika yang tinggi.



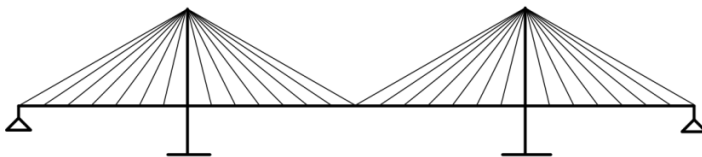
Gambar 2. 8 Susunan kabel *assymetrical planes system*

2. Kabel Longitudinal

Tatanan kabel longitudinal jembatan mempunyai banyak variasi tergantung pada pengalaman perencana menentukan perbandingan antara bentang dengan tinggi Menara/*pylon*. Untuk bentang yang lebih pendek, kabel tunggal mungkin sudah cukup untuk menahan beban rencana tetapi untuk bentang utama yang panjang dan bentang tidak simetris yang menggunakan angker, variasi tatanan kabel tidak cukup dengan kebutuhan secara teknis tetapi harus menghasilkan konfigurasi dasar tatanan kabel longitudinal yaitu, radial, harpa, bentuk kipas dan bintang (podolny and Scalzi, 1976). Menurut Walther macam – macam susunan kabel stayed longitudinal adalah :

1. *Fan Pattern* (Kipas)

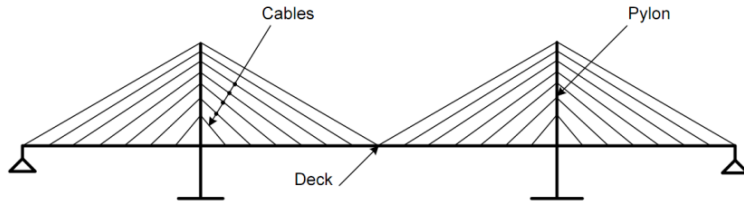
Fan pattern dalam beberapa literatur sebagai pola radial (melingkar) dimana merupakan sebuah susunan kabel yang dipusatkan pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang gelagar. Kelebihan tipe ini adalah kemiringan rata-rata kabel cukup besar sehingga komponen gaya horizontal tidak terlalu besar, namun kabel yang terkumpul diatas menara/*pylon* menyulitkan dalam perencanaan dan pendetailan sambungan.



Gambar 2. 9 Susunan kabel *fan pattern*

2. *Harp Pattern* (Pola Kecapi)

Harp pattern terdiri atas kabel-kabel penggantung yang dipasang sejajar dan disambungkan ke *pylon* dengan ketinggian yang berbeda-beda antar satu terhadap lainnya.

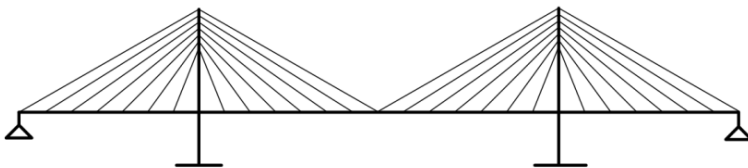


Gambar 2. 10 Susunan kabel *harp pattern*

Susunan kabel yang sejajar memberikan efek estetika yang indah namun terjadi lentur yang besar di *pylon*.

3. *Semi Harp Pattern* (Pola Setengah Kecapi)

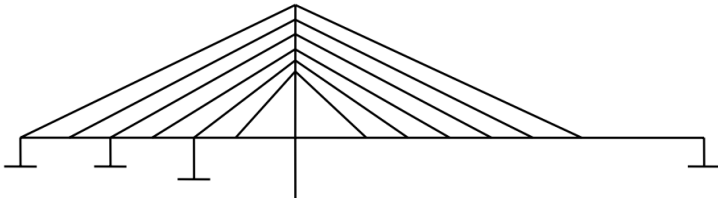
Semi harp pattern adalah kombinasi dari tipe *harp* dan *fan* yang menghasilkan tipe *semi harp* dimana kabel diletakkan secara menyebar pada bagian atas *pylon*. Pada sistem ini sudut yang dibentuk oleh kabel dan *pylon* lebih kecil dibandingkan pada tipe *harp* sehingga mengurangi kekakuan dari penghubung horizontal antara *pylon* dan pelat lantai



Gambar 2. 11 Susunan kabel *semi-harp pattern*

4. *Assymmetric Pattern*

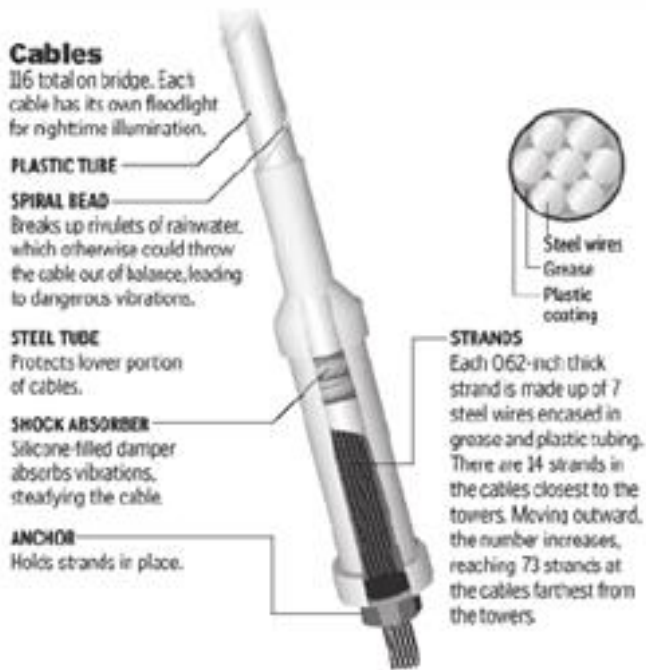
Tipe *asymmetric* adalah tipe kabel yang biasanya digunakan jika jembatan terpaksa dibangun dengan satu *pylon* dengan panjang bentang yang berbeda antara kanan dan kiri.



Gambar 2. 12 Susunan kabel *assymmetric pattern*

2.2.1.2 Jenis Kabel

Kabel merupakan bagian yang paling penting dalam desain jembatan cable stayed, karena berfungsi menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke *pylon* (Walther, 1999). Biasanya kabel yang digunakan berupa kabel prategang yang ditempatkan pada lantai jembatan. Kabel prategang dipilih guna mengurangi penyimpanan vertikal dari lantai jembatan dan penyimpanan lateral dari tiang. Pemilihan jenis kabel tergantung pada segi pelaksanaan struktur dan keuangan

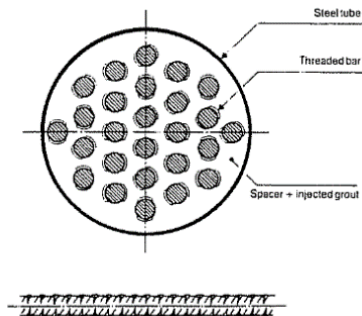


Gambar 2. 13 Konfigurasi kabel (Haldania R,2007)

Beberapa jenis kabel yang sering digunakan pada konstruksi *cable stayed* antara lain (Walther, 1999) :

1. *Parallel-bar cables*

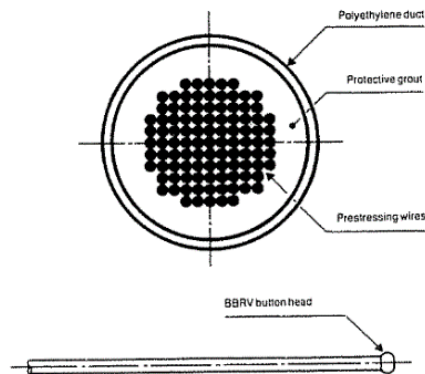
Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun sejajar pada sebuah selongsong dengan *polyethylene* sebagai pengisi antar jarak ditunjukkan pada **Gambar 2.14**. Batang baja dapat bergerak bebas pada arah memanjang sehingga memungkinkan proses tensioning secara individual



Gambar 2. 14 *Parallel-bar Cables*

2. *Parallel-wire cables*

Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun dan disatukan yang membentuk seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.15**. Tendon-tendon tersebut kemudian ditempatkan pada selongsong logam atau *polyethylene* yang kemudian akan diisi dengan campuran semen.

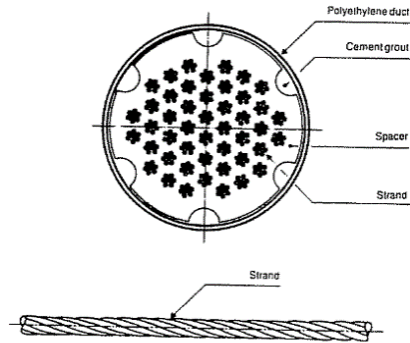


Gambar 2. 15 *Parallel-wire Cables*

3. *Stranded cables*

Ditunjukkan pada **Gambar 2.16**, jenis kabel ini merupakan selongsong kabel yang di dalamnya berisi bebrapa strand kabel.

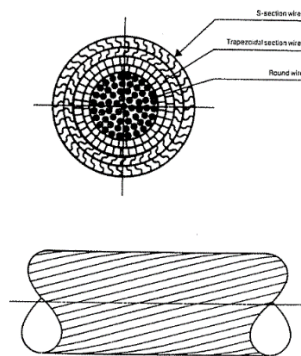
Strand kabel merupakan beberapa batang baja dengan diameter kecil yang disusun dan dipilin sehingga membentuk sebuah tendon



Gambar 2. 16 *Stranded Cables*

4. *Locked-coil cables*

Kabel ini terdiri dari strand kabel yang disusun di bagian tengah mengelilingi sebuah batang baja dan di bagian luarnya di lapisi oleh batang baja berbentuk S.



Gambar 2. 17 *Locked-coil Cables*

Merupakan jenis kabel yang sering digunakan sebagai kabel vertical pada jembatan gantung dengan penampang pada **Gambar 2.17**.

2.2.2 Gelagar

Bentuk gelagar jembatan *cable stayed* sangat bervariasi namun yang paling sering digunakan ada dua yaitu *stiffening truss* dan *solid web*. (Podolny and Scalzi,1976). *Stiffening truss* digunakan untuk struktur baja sedangkan *solid web* digunakan untuk struktur baja atau beton, baik beton bertulang maupun beton pratekan. (Chen and Duan,2014)

Walther (1999) mengungkapkan bahwa bentuk profil gelagar jembatan dan pertimbangan bahannya tergantung beberapa faktor yaitu :

1. Jarak antar kabel penggantung

Pada jembatan dengan jarak kabel yang relatif besar, secara otomatis akan diperlukan gelagar yang kaku, dan biasanya sifat seperti ini didapat pada gelagar dari baja. Pada umumnya jembatan ini mempunyai rasio ketebalan gelagar dan bentang (h/L) antara $1/50$ sampai $1/100$. Sedangkan pada jembatan yang memiliki jarak antar kabel yang relatif kecil, rasio ini dapat direduksi sampai $1/500$ dengan bahan dari beton, karena kebutuhan akan kekakuan gelagar menjadi berkurang.

2. Konfigurasi kabel arah lateral

Pada jembatan dengan satu kabel di tengah (*single-plane*), diperlukan gelagar dengan kekakuan torsi yang tinggi. Sifat ini dapat diberikan oleh gelagar berbentuk kotak (*box*) baik itu dari baja maupun dari beton. Sedangkan untuk jembatan dengan konfigurasi kabel di tepi (*double-plans*), memungkinkan dipakai gelagar yang lebih langsung karena kekakuan torsi tidak diperlukan

3. Lebar gelagar

4. Alasan ekonomis

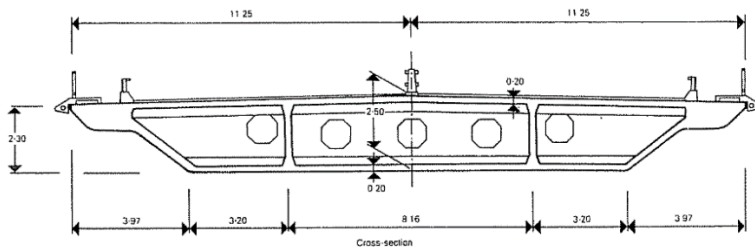
5. Metode konstruksi

2.2.2.1 Material Gelagar

Gelagar memiliki material penyusun yang bervariasi tergantung kebutuhan. Macam-macam material gelagar, yaitu :

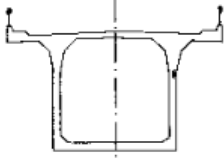
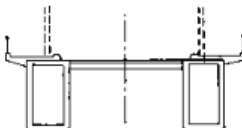

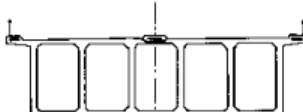
1. Beton

Lantai jembatan jenis ini dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* dikarenakan berat sendiri yang cukup besar, lantai jenis ini cocok untuk bentang menengah dan panjang. Lantai ini dapat berupa beton bertulang maupun beton prategang. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan lantai jembatan jenis ini tergolong murah, namun berat sendiri pada lantai jembatan mengakibatkan adanya tambahan beban mati pada jembatan. Hal ini menjadikan perlu untuk memperbesar dimensi dari kabel, tiang, dan pengangkeran pada struktur jembatan. (Juvani, 2012)



Gambar 2. 18 Penampang gelagar utama beton (Walther, 1999)

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material beton dapat dilihat pada

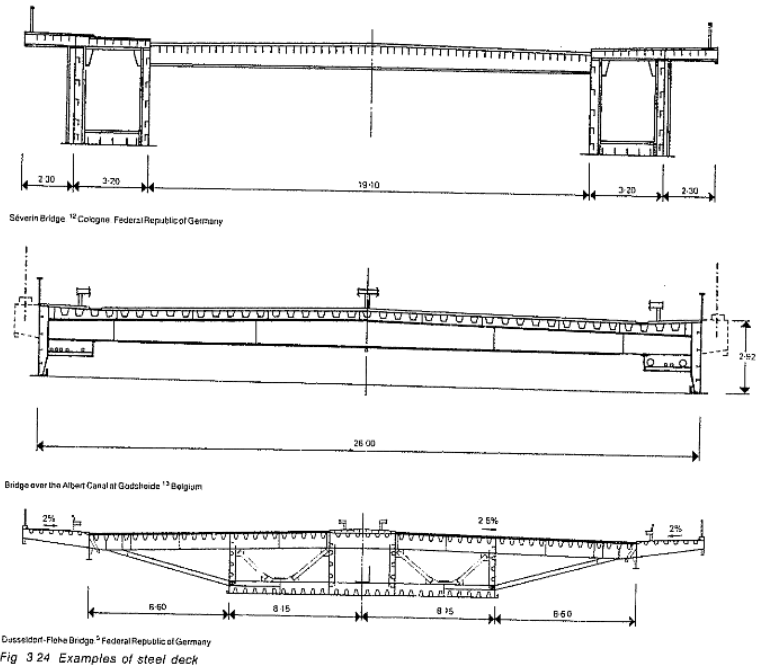
	Type of girder	Deck cross - section
1	Single box girder (Wadi Kuf Bridge, Libya)	
2	Twin box girders (River Parana Bridge, Argentina)	
3	Twin box girders (River Waal Bridge, Holland)	
4	Multiple box girder (Polcevera Viaduct, Italy)	

Tabel 2. 1 Penampang gelagar beton (Troitsky,1988)

2. Baja



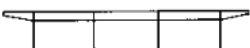




Penggunaan baja sebagai material gelagar utama bisa mengurangi keseluruhan berat struktur jika dibandingkan dengan menggunakan beton karena berat sendiri sturktur baja lebih kecil daripada beton. Hal ini memungkinkan untuk mendesain jembatan

lebih lebar untuk digunakan pada jembatan *cable stayed* bentang panjang. (Juvani, 2012)



Gambar 2. 19 Penampang gelagar utama baja (Walther, 1999)

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material baja dapat dilihat pada **Gambar 2.19**

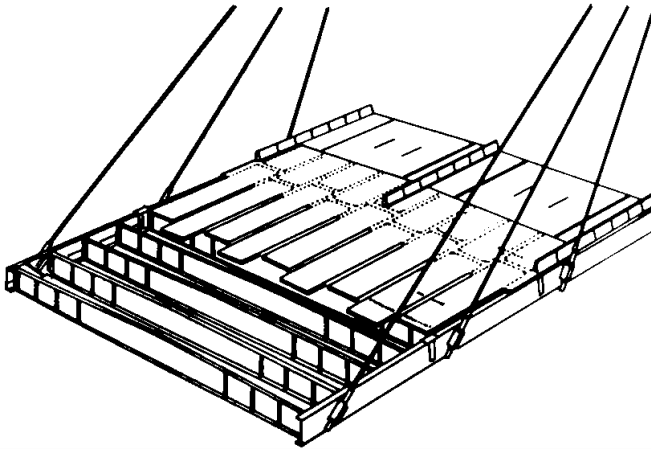
Types of main girder		
Arrangement		Deck cross - sections
1	Twin I girder	
2	Single rectangular box girder	
3	Central box girder and side single web girders	
4	Single twin cellular box girder and sloping struts	
5	Single trapezoidal box girder	
6	Twin rectangular box girder	
7	Twin trapezoidal box girder	

Tabel 2. 2 Penampang gelagar baja (Troitsky,1988)

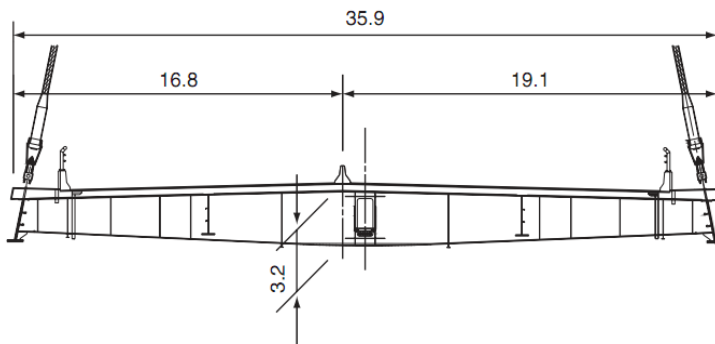
3. Komposit

Gelagar komposit menggabungkan antara beton dan baja secara *monolit* sehingga keduanya bekerja bersama-sama. Pelat beton dapat dibuat secara *precast* maupun *cast in place* diatas elemen baja (balok baja). Keuntungan dari gelagar ini adalah pengurangan dari berat sendiri gelagar (lebih berat dari gelagar baja namun lebih ringan dari gelagar beton) serta kemudahan pendirian terutama pada bagian bajanya (Walther, 1999). Elemen beton mempunyai

pengaruh besar terhadap penambahan gaya normal pada lantai jembatan. (Juvani, 2012)



Gambar 2. 20 Gelagar komposit pada jembatan *cable stayed*
(Brockenbrough and Merrit, 2011)



Gambar 2. 21 Penampang gelagar utama komposit
(Walther, 1999)

2.2.2.2 Sistem Konstruksi Gelagar

Ada tiga kemungkinan sistem konstruksi gelagar menurut Gimsing (1983), yaitu :

1. Sistem A

Gelagar memiliki *expansion joint* pada *pylon* dan terjepit di kedua tepinya. Ini mengakibatkan gelagar sepenuhnya menerima tarik. $N = 0$ di *pylon*



Gambar 2. 22 Konstruksi gelagar sistem A. (Gimsing, 1983)

2. Sistem B

Gelagar menerus dengan perletakan rol di kedua tepid an salah satu *pylon*-nya. Hal ini mengakibatkan gelagar sepenuhnya menerima tekan. $N = 0$ ditengah bentang utama



Gambar 2. 23 Konstruksi gelagar sistem B. (Gimsing, 1983)

3. Sistem C

Gelagar menerus dengan perletakan rol di semua tepi dan *pylon*-nya.



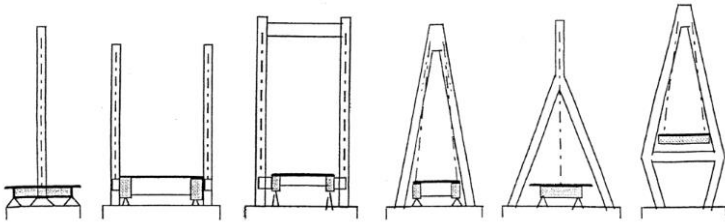
Gambar 2. 24. Konstruksi gelagar sistem C.
(Gimsing, 1983)

Hal ini mengakibatkan gelagar menerima tarik di tengah bentang utama dan tekan di tepi bentang utama serta bentang tepinya. $N = 0$ di perletakan akhir tepi.

2.2.3 Menara atau Pylon

Pylon merupakan elemen struktur yang paling penting pada jembatan *cable stayed* karena bentuk *pylon* direncanakan berdasarkan susunan kabelnya. Oleh karena itu, pertimbangan estetika juga termasuk hal yang dipehitungkan dan cermat dalam mendetailkan sangat penting dalam kesuksesan keseluruhan tampilan jembatan. (Chen dan Duan, 2014)

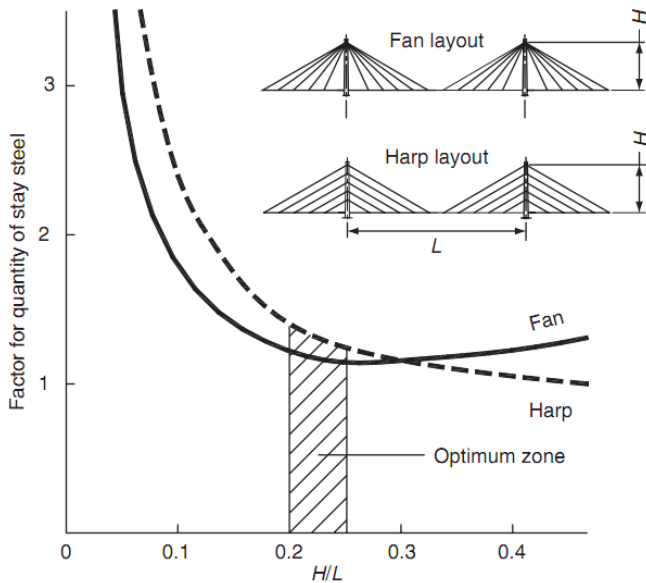
Pylon (menara) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur, menara dapat terbuat dari baja atau beton bertulang. Ada beberapa bentuk menara yang dapat diterapkan pada jembatan *cable stayed*, seperti *H-frame*, *Single*, *Double towers*, *Portal* dan *A-Shaped*. Bentuk-bentuk menara tersebut dipilih berdasarkan susunan kabel, estetika, pertimbangan biaya, kebutuhan perencanaan dan parameter lainnya. Kebanyakan tower memiliki struktur kolom berongga (*hollow*) agar dapat mengakomodir adanya tangga, kerekan dan jaringan listrik.



Gambar 2. 25. Tipe-tipe menara jembatan *cable-stayed*.
(Brockenbrough and Merrit, 2011)

1. Tinggi Pylon

Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang deck (L) dengan range nilai 0,2 – 0,25 (Parke and Huson, 2008), lihat **Gambar 2.26**



Gambar 2. 26 Tinggi optimum pylon.
(Parke and Huson, 2008)

2. Pengangkuran Kabel

Kabel dapat diangkur pada *pylon* atau melewati *pylon* dengan bantuan *cable saddle*. *Cable saddles* digunakan pada bentang yang pendek dan menengah, juga pada daerah yang memiliki geometri sederhana. Bagaimanapun, biaya dan tegangan tambahan pada kabel yang menjadi pertimbangan dalam pembatasan penggunaan *saddle*. (Chen dan Duan, 2014)

3. Material Pylon

Walaupun pada awalnya jembatan *cable stayed* dibangun menggunakan *pylon* baja, namun beton menjadi alternatif pilihan yang lebih ekonomis. Beton saat ini umumnya dipilih sebagai material *pylon* untuk jembatan *cable-stayed* yang besar dan selalu menggunakan perancah yang dapat bergerak ke atas dalam konstruksinya. Bagaimanapun, *pylon* baja masih menjadi opsi yang lebih baik untuk area yang memiliki gempa tinggi. (Chen dan Duan, 2014)

2.2 Pembebanan

Pembebanan pada struktur jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 meliputi:

2.3.1 Pembebanan pada Struktur Sekunder

1. Pembebanan pada trotoar (SNI 1725-2016 pasal 8.9)
2. Pembebanan pada railing (SNI 1725-2016 pasal 11)

2.3.2 Pembebanan pada Struktur Utama

1. Pembebanan pada Rantai Kendaraan
 - a) Beban permanen, berupa berat sendiri box girder, palat kendaraan, lapisan aspal, dan beban mati lainnya (SNI 1725-2016 pasal 7)
 - b) Beban lalu lintas, berupa beban terbagi rata, beban garis, beban truk, gaya rem, gaya sentrifugal, beban fatik, dll (SNI 1725-2016 pasal 8)

2. Permodelan beban angin
Penentuan beban angin (SNI 1725-2016 pasal 9.6)
3. Permodelan beban gempa
Penentuan beban gempa (SNI 1725-2016 pasal 9.7)
4. Pembebanan aksi lingkungan lainnya
Penentuan beban aksi lingkungan (SNI 1725-2016 pasal 9)

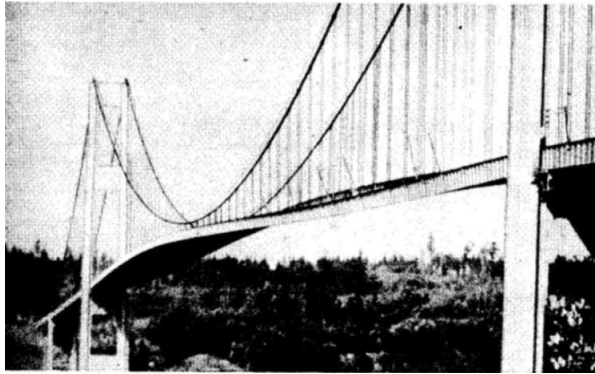
2.3.3 Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan untuk struktur jembatan *cable-stayed* dilakukan berdasarkan ketentuan Pasal 7.4 Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel.

2.3 Stabilitas Aerodinamik

Stabilitas aerodinamik dilakukan untuk mengetahui perilaku angin terhadap struktur. Perilaku aerodinamik terjadi karena bentang jembatan yang relatif besar. Aliran angin yang mengenai struktur jembatan dapat mengakibatkan terjadinya osilasi torsi dan lentur. Selain itu besarnya sudut datang angin terhadap struktur jembatan juga dapat mempengaruhi terjadinya gaya angkat. Hal pertama yang harus dilakukan pada kontrol stabilitas aerodinamik adalah mengetahui besarnya frekuensi alam struktur.

Pada jembatan *cable-stayed*, bentang utama biasanya memiliki bentang yang besar, angin yang menabrak *deck* jembatan menyebabkan struktur mengalami osilasi lentur dan torsi. Angin lateral yang terjadi membuat sudut terhadap horizontal sehingga menimbulkan efek angkat, maka dari itu jembatan *cable-stayed* tidak boleh terlalu ramping. Tacoma Bridge adalah contoh kegagalan struktur *cable-stayed* dimana struktur nya terlalu langsing dengan bentang $L=853$ m dan lebar kendaraan $B=12$ m. (Soegihardjo, 2007)



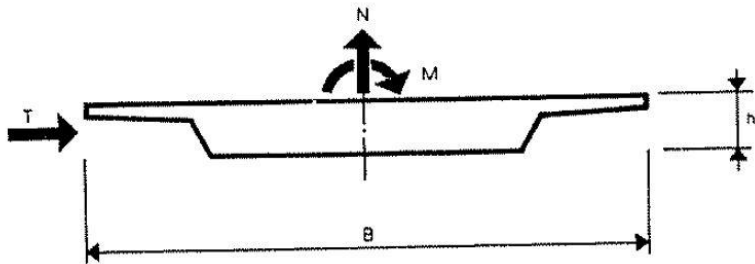
Gambar 2. 27. Gerak torsi Jembatan Tacoma sesaat sebelum runtuh, 7 Nopember 1940. (Soegihardjo, 2007)



Gambar 2. 28. Keruntuhan jembatan Tacoma. (Soegihardjo, 2007)

Pada bagian struktur yang dikenai gaya angin akan terjadi gaya statis yang terbagi menjadi 3, yaitu

1. Gaya horizontal (T)
2. Gaya vertikal (N)
3. Momen torsi (M)



Gambar 2. 29 Gaya T, N, dan M akibat angin (Walther, 1999)

Ketiga gaya tersebut **Gambar 2.29** bergantung pada faktor tekanan angin (q), bentuk penampang yang berpengaruh pada koefisien C_T , C_N , dan C_M , serta besarnya sudut datang angin terhadap struktur (α). (Walther, 1988). Sehingga gaya-gaya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2-1)$$

$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2-2)$$

$$M = C_M \cdot q \cdot B \cdot h \cdot l \quad (2-3)$$

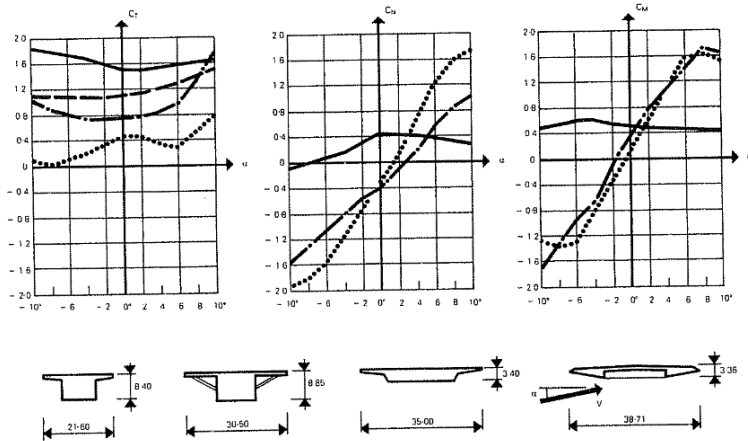
Dimana :

l = Panjang struktur

h = Tinggi total lantai kendaraan

B = Lebar lantai kendaraan.

Nilai koefisien C_T , C_N , dan C_M tergantung pada penampang gelagar utama jembatan seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.30**



Gambar 2. 30. . Koefisien C_T , C_N , dan C_M

Pengaruh akibat beban angin dinamis

1. *Vortex-shedding* (Pusaran Angin)

Terjadinya fenomena vortex-shedding **Gambar 2.31** digambarkan sebagai terbentuknya pusaran angin pada saat angin mengalir di sekitar silinder yang diam. Setiap pusaran angin yang terbentuk akan mengakibatkan terjadinya gaya lateral yang bekerja pada silinder. Dalam pemodelan aerodinamik jembatan cable-stayed, silinder yang diam dapat dianggap sebagai penampang gelagar jembatan.



Gambar 2. 31 Proses terbentuknya pusaran angin.
(Troitsky, 1988)

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh Von Karman, efek dari *vortex-shedding* dapat dievaluasi menggunakan angka Reynolds (Re) dan angka Strouhal (S). angka Strouhal digunakan untuk mengetahui besarnya kecepatan angin sedangkan angka Reynold digunakan untuk mengetahui apakah struktur berada dalam rentang nilai $10^5 < Re < 10^7$ seperti disyaratkan.

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu} \quad (2.4)$$

$$S = \frac{f \cdot h}{V} \quad (2.5)$$

Dimana :

V = kecepatan angin

B = lebar gelagar utama

ν = viskositas kinematis udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{det}$)

h = tinggi gelagar utama

f = frekuensi pusaran angin

Besarnya frekuensi yang ditinjau ada dua, yaitu frekuensi akibat lentur dan torsi:

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{max}} \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$f_r = \frac{\bar{b}}{2r} f_B \quad (2.7)$$

Untuk:

f_B = frekuensi akibat lentur

f_r = frekuensi akibat torsi

g = gaya gravitasi

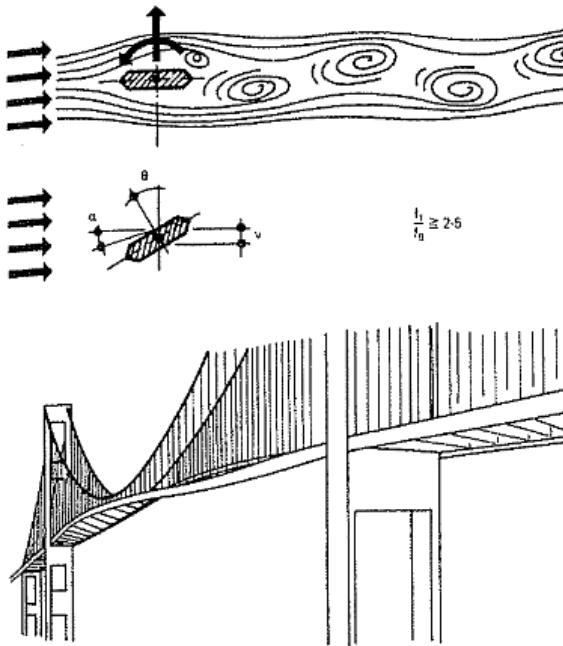
v_{max} = deformasi static maksimum

\bar{b} = jarak antar kabel arah horizontal

r = radius gyrasi

2. *Flutter* (Efek Ayun)

Flutter merupakan sebuah keadaan dimana gelagar mengalami tekanan dari angin dengan kecepatan tertentu sehingga mengalami perpindahan dan torsi yang jika nilainya terlalu besar akan mengakibatkan deformasi yang berlebihan dan mengarah pada kerusakan struktur. Untuk meminimalisasi terjadinya *flutter* maka struktur harus direncanakan berdasarkan kecepatan angin rencana yang lebih besar dibanding kecepatan angin terbesar yang pernah terjadi di lokasi.



Gambar 2. 32. Deskripsi Fenomena *Flutter* (Walther, 1999)

Deskripsi fenomena *flutter* dapat dilihat pada **Gambar 2.32**. Dalam kontrol efek *flutter* dengan menggunakan metode *Kloeppe* akan didapatkan besarnya kecepatan angin maksimum yang dapat diterima struktur.

2.4 Metode Pelaksanaan

Ada tiga cara yang umum dipakai untuk *stiffening girder* (Soegihardjo, 2007), yaitu :

1. *Staging method*,
2. *Push out method*,
3. *Cantilever method*.

2.5.1 *Staging method*

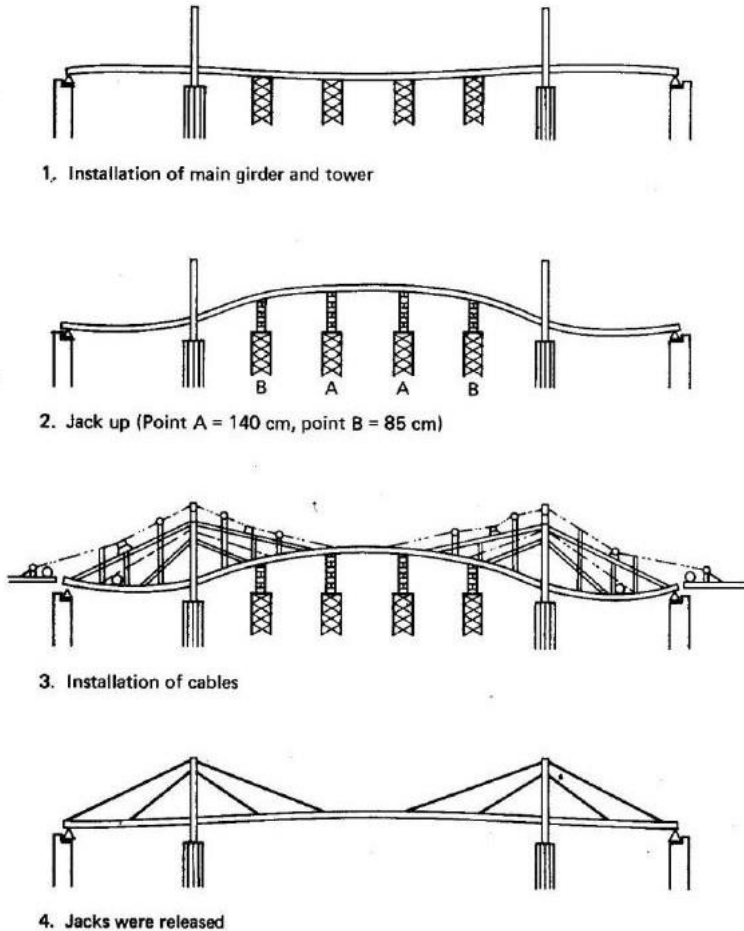
Metode staging biasanya digunakan pada lokasi jembatan dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat dan tinggi bebasnya memungkinkan untuk pemasangan menggunakan perancah. Pada metode ini setiap segmen jembatan dicor dengan menggunakan bekisting yang ditahan oleh perancah. Kabel dapat dipasang pada saat pengecoran beton atau pengelasan baja (tergantung material gelagar utama) dan di *jacking* setelah konstruksi gelagar utama selesai.

Keuntungan menggunakan *staging method* adalah :

1. Teliti dalam mengikuti bentuk geometrik dan tanjakan yang dipersyaratkan pada *erection*.
2. Biaya rendah pada ruang bebas yang rendah.

Urutan pelaksanaannya menggunakan *staging method* adalah :

1. Setelah tembok pangkal dan pilar selesai dibuat, mulai dibuat pilar penolong sementara.
2. Gelagar dipasang dengan sistem *cantilevering*, sampai pada pilar penolong.
3. Pada saat itu pilar penolong berikutnya sudah selesai dan gelagar dapat dipasang terus sampai pada pilar penolong kedua.
4. dan seterusnya, sampai seberang.
5. Berat tiap bagian gelagar dapat mencapai : 27,5 ton ; dengan panjang : 20m.



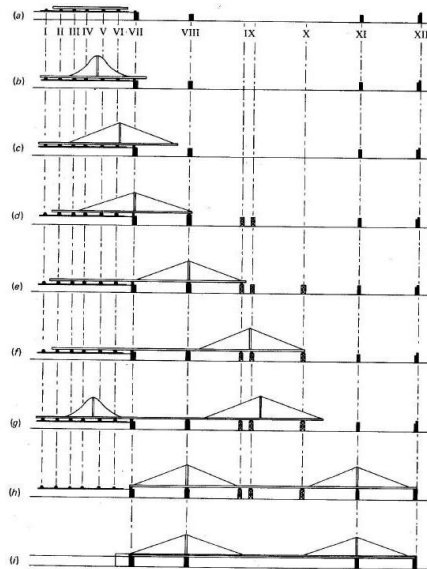
Gambar 2. 33. Prosedur pelaksanaan *Staging Method*.
(Soegihardjo, 2007)

6. *Pylon* diselesaikan pemasangannya.
7. Kabel – kabel dipasang .
8. Pada pilar penolong dapat dipasang *jack*, untuk memberi bentuk geometrik yang ditentukan, pada tahap *erection*.

2.5.2 Push out method

Dipakai terutama bila lalu lintas di bawah jembatan tidak boleh diganggu oleh adanya sistem *erection* jembatan; sedangkan pemakaian cara *cantilever* dinilai tidak praktis pada situasi yang ada di tempat jembatan.

Pada metode ini, bagian-bagian bangunan atas dirangkai di tepian sungai, kemudian secara bertahap didorong maju melintas bentangan-bentangan antara pilar-pilar yang telah dibuat lebih dahulu, termasuk rol atau perletakan geser teflon diatasnya. Gelagar ini dapat didorong dari dua sisi, masing-masing tepian, atau hanya dari satu tepian saja.



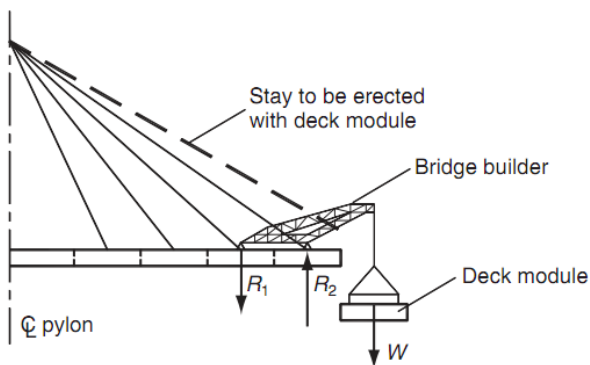
Gambar 2. 34. Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out.
(Soegihardjo, 2007)

Pylon (dengan kabelnya) saat didorong maju, duduk diatas gelagar; setelah sampai ke tempat *pylon* yang direncanakan, *pylon*

dihubungkan dengan pilarnya. Berat yang dapat didorong kedepan mencapai 1500 ton.

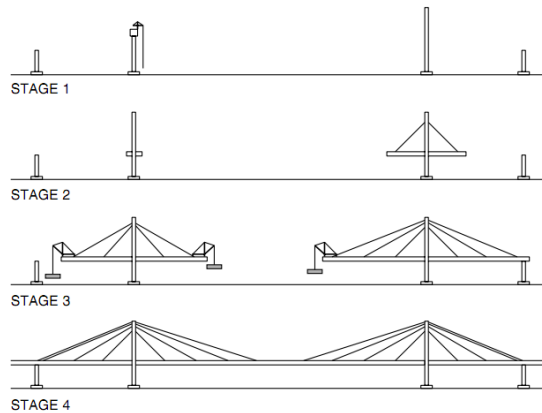
2.5.3 Cantilever Method

Pelaksanaan menggunakan metode kantilever biasanya digunakan untuk struktur jembatan dengan material beton atau baja dengan tinggi bebasa yang besar sehingga kurang memungkinkan untuk penggunaan perancah. Untuk jembatan dengan gelagar utama dari material beton urutan pekerjaan dimulai dengan pemasangan *traveler* pada bagian abutmen, pemasangan bekisting, pemasangan ducting kabel pada gelagar utama, pengecoran gelagar utama, pemasangan kabel dan dilanjutkan *jacking* kabel, kemudian *launching traveler*.



Gambar 2. 35. Metode pelaksanaan kantilever
(Parke and Huson, 2008)

Proses tersebut dilangi hingga kedua sisi jembatan bertemu di tengah. sedangkan untuk jembatan dengan gelagar utama dari material baja pelaksanaannya hampir sama hanya pada proses pemasangan bekisting diganti menjadi pemasangan profil dilanjutkan dengan pengelasan atau penyambungan dengan segmen sebelumnya, serta tidak ada proses pengecoran.



Gambar 2. 36. Metode pelaksanaan kantilever
(Gimsing dan T. Christos , 2012).

Dalam kenyataannya urutan antara analisis dan pelaksanaan jembatan pada sistem kantilever berlawanan arah, seperti terlihat pada contoh ilustrasi jembatan dengan enam kabel pada bentang utama di bawah :

ERECTION STAGE	OPERATION	CALCULATION STEP	STRUCTURAL SYSTEM
n-6		7	6-7
n-5		6	
n-4		5	4-5
n-3		4	
n-2		3	2-3
n-1		2	
n		1	1 FINAL SYSTEM

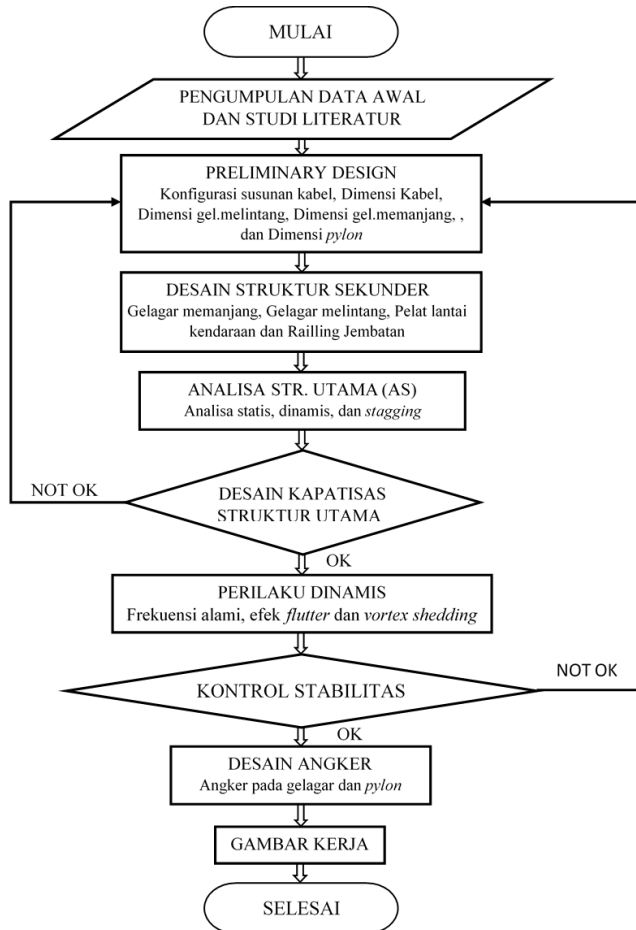
Gambar 2. 37. Ilustrasi arah berlawanan dari urutan analisis dan urutan pelaksanaan. (Gimsing, 1983)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir perencanaan jembatan cable stayed dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut :



Gambar 3. 1. Diagram alir perencanaan

3.2 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Dalam studi literatur penulis menggunakan beberapa referensi terkait, berupa jurnal, modul kuliah, buku, majalah, peraturan, maupun internet.

Data perencanaan yang dibutuhkan antara lain :

1. Nama dan lokasi : Jembatan Mahakam, Samarinda
2. Panjang bentang *existing* : 400 m (5@60m + 1@100m)
3. Lebar *existing* : 13 m (2/2 UD)
4. Tinggi bebas : 22 m
5. Material Utama *existing* : Baja

3.3 Preliminary Design

3.3.1 Konfigurasi Susunan Kabel

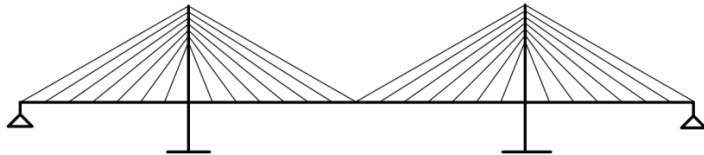
Susunan kabel arah memanjang berupa *semi harp pattern*, sedangkan susunan arah melintang berupa *Two Vertical Planes System*. Susunan ini lebih menguntungkan karena desain pylon dapat lebih pendek dan pemasangan kabel tidak akan serumit *fan pattern*. *Plan design* sebagai berikut :

1. Susunan jembatan, cable stayed menggunakan *Three-span* seperti pada gambar

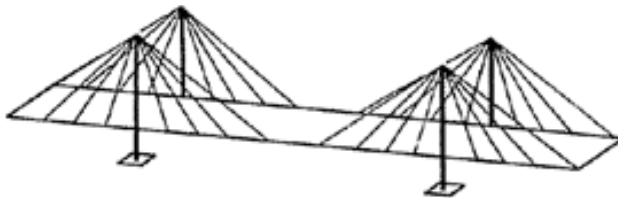


Gambar 3. 2. Susunan kabel *three-Span*

2. Konfigurasi kabel, memanjang menggunakan *semi harp pattern* dengan kondisi posisi kabel melintang *two vertical planes system* seperti pada gambar

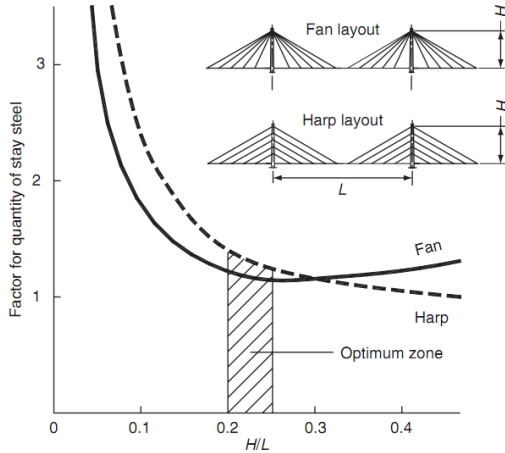


Gambar 3. 3. Susunan kabel *Semi Harp Pattern*



Gambar 3. 4. Susunan kabel *Two Vertical Planes System*

3. Jarak kabel pada gelagar,
 - a) Jika berupa gelagar baja maka jaraknya (15 m s.d 25 m)
(Walther dkk, 1999)
 - b) Jika berupa gelagar beton maka jaraknya (5 m s.d 10 m)
(Walther dkk, 1999)
4. Tinggi *pylon* (H), perencanaan untuk tinggi *pylon* dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang *deck* (L) dengan range nilai 0,2-0,25 (Parke and Hudson,2008)



Gambar 3. 5. Tinggi optimum *pylon*

3.3.2 Dimensi Kabel

Menurut Gimsing (1983) dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan berikut :

$$Asc = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{(0,8f_u)\sin 2\theta/2 - \gamma.a} \quad (3. 1)$$

Dimana :

Asc : Luas penampang kabel

W : Beban mati dan hidup merata

P : Beban terpusat

λ : Jarak antar angker kabel pada gelagar

θ : Sudut kabel terhadap horisontal

γ : Berat jenis kabel (77.01 kN/m³)

f_u : Tegangan putus kabel (1860 Mpa)

a : jarak mendatar dari *pylon* ke angker kabel pada gelagar (*girder*)

Menghitung jumlah kabel. (Gimsing, 1983)

$$n = \frac{A_{sc}}{A_s} \quad (3.2)$$

Dimana :

A_s : Luas penampang kabel

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendiri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya, sebagai berikut (Munaf dan Ryanto, 2004):

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma l)^2}{12\sigma^3} E} \quad (3.3)$$

Dimana :

E_{eq} = Modulus elastisitas ekivalen

E = Modulus elastisitas kabel (200000 MPa)

γ = Berat jenis kabel ($77.01 \text{ kN/m}^3 = 77.01 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3$)

l = jarak titik gantung kabel ($\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$)

3.3.3 Dimensi Gelagar Melintang

Dimensi gelagar melintang dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$d \geq \frac{L}{9} \quad (3.4)$$

Untuk menentukan dimensi gelagar melintang kantilever dapat digunakan persamaan berikut :

$$d \geq \frac{L}{6} \quad (3.5)$$

3.3.4 Dimensi Gelagar Memanjang

Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Contruction & Design of Cable-Stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

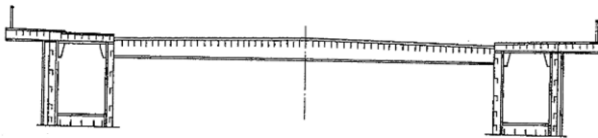
Untuk Dimensi struktur utama (box baja) preliminary design nya dapat didekati dengan rumusan berikut :

$$h = \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \quad (3.6)$$

Sedangkan untuk dimensi gelagar memanjang sebagai pengaku dari gelagar melintang dapat didekati dengan rumusan berikut :

$$d \geq \frac{L}{12} \quad (3.7)$$

Bentuk gelagar jembatan di desain menggunakan *twin box girder* seperti pada **Gambar 3.6**



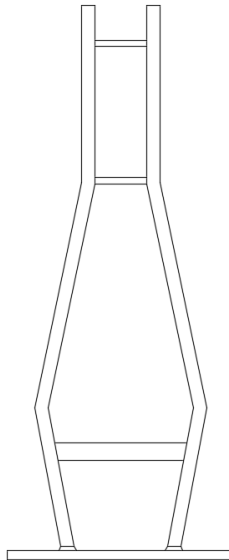
Gambar 3. 6. *Twin Box Girder*

3.3.5 Dimensi Pylon

Preliminary pylon berdasarkan besarnya gaya aksial tekan dan momen lentur (akibat lentur diasumsikan 50% dari pengaruh aksial) dari gaya aksial pada kabel untuk satu sisi kolom vertikal *pylon* tersebut.

1. Material : Beton bertulang
2. f'_c : 50 Mpa
3. f_y : 400 Mpa
4. Bentuk : *Pylon Twin Tower* dengan posisi kabel *two*

vertical planes system



Gambar 3. 7. Bentuk pylon menggunakan bentuk *Twin Tower*

Tinggi *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$h \geq \frac{L}{6} \text{ sampai } \frac{L}{8} \quad (3.8)$$

(Troitsky, 1977)

$$\frac{h}{L} = 0,2 \quad (3.9)$$

(Podolny, 1986)

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persmaan berikut

$$A_{perlu} = \frac{T}{f'c} \quad (3.10)$$

dimana :

A_{perlu} : Luas penampang *pylon*

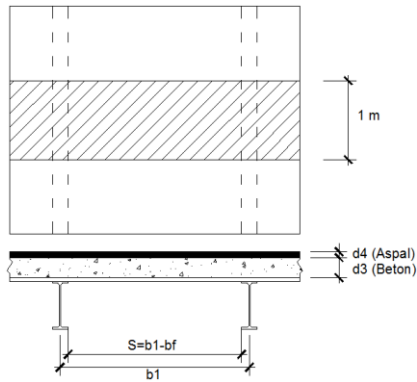
T : Gaya aksial total pada *pylon*

(Asumsi b = lebar penampang ; h = tinggi penampang = $2b$)

3.4 Desain Struktur Sekunder

3.4.1 Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan berupa beton komposit antara beton bertulang dengan *comcodeck*.

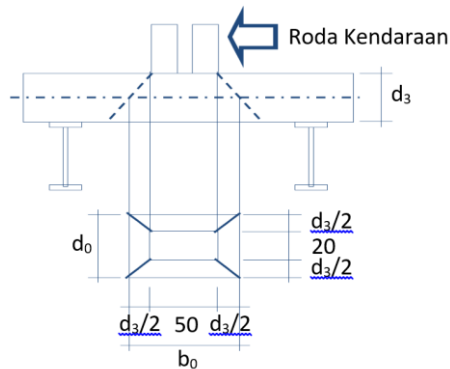


Gambar 3. 8. Model gambar perhitungan

Perhitungan Momen :

$$\text{Beban Truk} = 0.8 \times (S+0.6)Tu/10 \quad (3.11)$$

$$\text{Merata} = (1/10) \times q \times (b_1)^2 \quad (3.12)$$



Gambar 3. 9. Model gambar perhitungan control geser.

Kontrol Geser Pons :

$$\text{Gaya geser (V)} = K_{TT}^U \times 100 \times (1+0.3) \quad (3.13)$$

$$\text{Luas Bidang Kritis (A}_K\text{)} = 2 \times (b_0+d_0) \times d_3 \quad (3.14)$$

$$\text{Kemampuan Geser (V}_u\text{)} = A_K \times \text{Teg. Geser Beton} \quad (3.15)$$

$$\text{Kontrol} = V < V_u \quad (3.16)$$

3.4.2 Railing Jembatan

Railing jembatan direncanakan menerima beban $w = 0.75$ kN/m' yang bekerja sepanjang sandaran paling atas. Kemudian beban w didistribusikan ke tiap join

$$Pw = w \times b \quad (3.17)$$

Dimana :

w : beban per meter lari

b : jarak yang dipikul tiap join

Kemudian dicari momen dan geser yang terjadi pada tiang *railing* dengan menggunakan persamaan berikut :

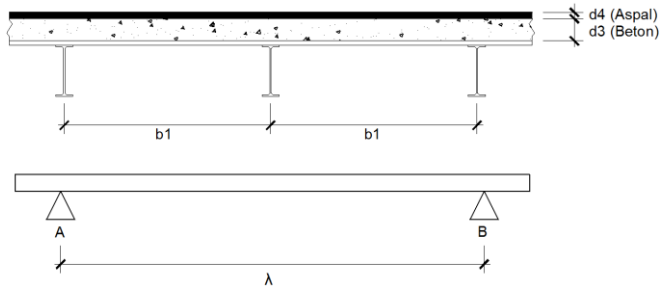
$$Mu = w \times 0.5L \times H \quad (3.18)$$

$$Vu = w \times 0.5L \quad (3.19)$$

Koneksi ke landasan diberi *baseplate* yang diangker ke beton trotoar. Analisa profil *railing* menggunakan program bantu SAP2000.

3.4.3 Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang berfungsi menyalurkan beban kendaraan pada pelat beton ke gelagar melintang. Pembebanan pada gelagar mengacu pada SNI 1725-2016.



Gambar 3. 10. Model gambar perhitungan beban mati gelagar.

A dan B adalah tumpuan yang diasumsikan *simple connection* ke balok melintang.

Momen akibat beban mati:

$$M_D = 1/8 \times q_{MU} \times \lambda^2 \quad (3.20)$$



Gambar 3. 11. Model gambar perhitungan beban lalu lintas gelagar.

Beban Hidup :

$$q_{UDL} = 9 \text{ kPa} \times b_1 \times LF \text{ (untuk } L < 30 \text{ m)} \quad (3.21)$$

$$= 9 (0.5 + 15/L) \times b_1 \times LF \text{ (untuk } L > 30 \text{ m)}$$

$$q_{KEL} = 49 \text{ Kn/m} \times b_1 \times LF \times (1+DLA) \quad (3.21)$$

Momen akibat beban hidup :

$$M_{L1} = 1/4 q_{KEL} \times \lambda + 1/8 q_{UDL} \times \lambda^2 \quad (3.22)$$

Beban Hidup Truk Terpusat “T” (112,5 KN)

$$T_u = 112.5 \times 1.8 \times (1+DLA) \quad (3.23)$$

Momen akibat T_u :

$$M_{L2} = 1/4 \times T_u \times \lambda \quad (3.24)$$

Momen Total diambil yang terbesar :

$$M_T = M_D + M_{L1} \quad (3.25)$$

$$= M_D + M_{L2} \quad (3.26)$$

3.4.4 Gelagar Melintang

Gelagar melintang berfungsi menyalurkan beban-beban lantai kendaraan dan beban gelagar memanjang ke gelagar utama (*twin I girder*). Pembebanan pada gelagar mengacu pada SNI 1725-2016

- Kontrol Kapasitas Lentur :

1) Kontrol Tekuk Lokal

Sayap ... (RSNI T-03-2005 ps. 7.4.2.2)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (3.27)$$

Badan ... (RSNI -03-2005 ps. 7.7.1)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2(t_f)}{t_w} \quad (3.28)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (3.29)$$

Jika $\lambda < \lambda_p$, penampang kompak maka kuat lentur nominal penampang

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y \quad (3.30)$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y \quad (3.31)$$

2) Kontrol Tekuk Lateral

RSNI T-03-2005 Tabel 8

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (3.32)$$

Jika $L_b < L_p$ maka termasuk bentang pendek,

Jika $L_b < L < L_p$ maka bentang menengah, dan

Jika $L_p < L$ maka bentang panjang

3) Kontrol Kapasitas Momen

$$\phi M_n > M_u \quad (3.33)$$

- Kontrol Kapasitas Geser :

Berdasarkan RSNI T-03-2005 ps.7.8 untuk balok tanpa pengaku vertikal kuat geser dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d - 2(t_f)}{t_w} \quad (3.34)$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_n.E}{f_y}} \quad (3.35)$$

Dimana :

$K_n = 5$ (untuk balok tanpa pengaku vertikal)

Maka kuat geser ϕV_n dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w > V_u \quad (3.36)$$

- Kontrol akibat aksial

$$\phi P_n > P_{u_{\max}} \quad (3.37)$$

- Kontrol akibat kombinasi lentur + aksial

1. Jika $\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,20$ maka digunakan persamaan interaksi berikut

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b.M_{ny}} \right] \leq 1,00 \quad (3.38)$$

2. Jika $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,20$ maka digunakan persamaan interaksi berikut

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi b.M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b.M_{ny}} \right] \leq 1,00 \quad (3.39)$$

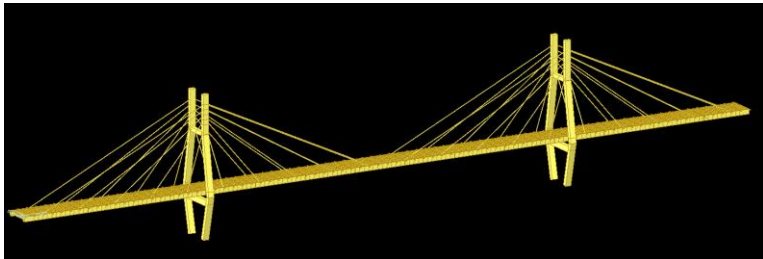
- Kontrol Lentutan

Menurut RSNI T-03-2005 ps. 4.7.2 lentutan maksimum gelagar diatas dua tumpuan $L/800$.

3.5 Analisis Statis Struktur Utama

Struktur utama terdiri dari gelagar utama (*Twin Box Girder*), kabel dan struktur *Pylon*. Analisa menggunakan program MIDAS/Civil. Analisis jembatan *cable stayed* terdiri dari analisis statik dan dinamik, hal ini dimaksudkan untuk menentukan variasi gaya pada elemen pendukung beban (gelagar, *pylon*, dan kabel), sedangkan analisis dinamis digunakan untuk menentukan kestabilan struktur.

Permodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu MIDAS/Civil.



Gambar 3. 12. Permodelan menggunakan MIDAS/CIVIL

Dengan pembebanan struktur utama sebagai berikut

Beban statis terdiri dari :

1. Beban tetap
 - a) Berat sendiri

Berat sendiri merupakan berat elemen bahan dari struktur, ditambah dengan elemen bahan non struktur yang dianggap tetap. Berikut merupakan berat isi dan kerapatan massa untuk berat sendiri dari beberapa bahan SNI 1725-2016 Pasal 7.1 tabel 2.

Tabel 3. 1. Tabel berat jenis elemen

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Berikut merupakan faktor beban untuk berat sendiri dari beberapa bahan menurut SNI 1725-2016 Pasal 7.2 tabel 3

Tabel 3. 2 Faktor Beban untuk Beban Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

b) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada struktur yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya umur struktur. Berikut merupakan faktor beban untuk beban mati tambahan menurut SNI 1725-2016 Pasal 7.3 tabel 4.

Tabel 3. 3 Faktor Beban untuk Beban Sendiri

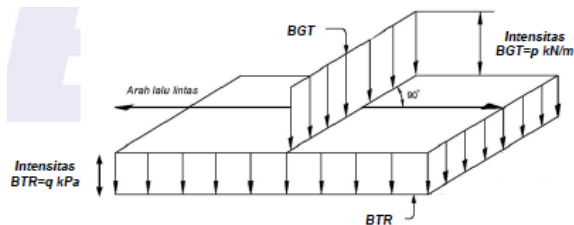
Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1.3 digunakan untuk berat utilitas

2. Beban Lalu lintas

a) Beban lajur “D”

Beban lajur “D” menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.3 terdiri dari beban tersebar merata (UDL) yang digabung dengan beban garis (KEL), lihat Gambar 3.5 berikut :

**Gambar 3. 13** Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata (UDL) mempunyai intensitas q kPa, dengan besarnya q tergantung pada panjang total :

$$L < 30\text{m} : q = 9.0 \text{ kPa} \quad (3.40)$$

$$L \geq 30\text{m} : q = 9.0 (0.5 + 15/L) \text{ kPa} \quad (3.41)$$

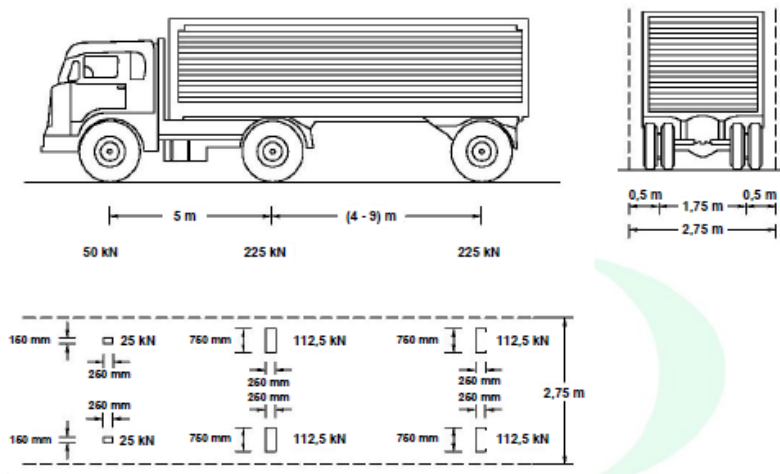
Panjang yang dibebankan L adalah panjang total UDL yang bekerja pada jembatan. Beban garis (KEL) dengan intensitas p KN/m harus ditempatkan tegak lurus arah lalu-lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49.0 kN/m.

Tabel 3. 4 Faktor untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{DB})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{DB}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{DB}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

b) Beban truk “T”

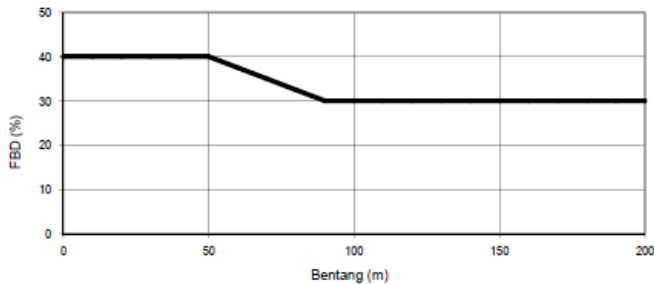
Pembebanan truk “T” menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.4 terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.6. Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai . jarak antara dua as tersebut antara 4.0 m sampai dengan 9.0m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.



Gambar 3. 14. Beban truk

Tabel 3. 5 Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TL}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TL}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00



Gambar 3.15 Faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D”

c) Beban lingkungan

Beban lingkungan dapat terjadi karena pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab lainnya.

3. Beban angin

a) Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1 yang ditentukan untuk angin horizontal diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.42)$$

Dimana,

V_{DZ} : kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 m di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm

Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin rencana dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_0 : kecepatan gesekan angin, yang meruakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 2.18, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meterologi, ditentukan pada tabel 2.18 (mm)

V_{10} diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang.
- Survei angin pada lokasi jembatan.
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 3. 6 Nilai V_0 dan Z_0

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

b) Beban Angin pada Struktur (EWs)

Tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3.43)$$

Dimana,

P_B : Tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam **Tabel 3.8**

Tabel 3. 7 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

c) Gaya Angin pada Kendaraan (EW_I)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Komponen beban angin yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil sesuai dalam **Tabel 3.9** di mana sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 3. 8 Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan.

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

4. Pengaruh Gempa

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.7 menyatakan bahwa jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3.44)$$

Dimana,

E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : koefisien respons gempa elastis

R_d : faktor modifikasi respons

W_t : berat total struktur terdiri dari beban mati dan hidup yang sesuai (kN)

Beban gempa diambil sebagai beban horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi

dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 meter di bawah struktur jembatan.

3.6 Staging Analysis

Metode pelaksanaan/*Staging Analysis* konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *cantilever erection* dan dipengaruhi langsung oleh beban *form traveler*.

Metode analisis struktur dibuat dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*. Dimulai dari keadaan final jembatan dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai pada keadaan awal pada metode pelaksanaan. Semua tahapan tersebut di-input-kan kedalam program MIDAS/Civil sehingga didapat hasil gaya per tahapan analisa.

3.7 Desain Angker

3.7.1 Desain angker pada gelagar

Pada desain ini anker dipasang sesuai dengan jumlah *strand* yang direncanakan dari perhitungan sebelumnya. Dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat *stressing* (pemberian gaya tarik).

- Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

$$f_{yp} = 0,8.f_y \sqrt{\frac{A_p'}{A_p}} - 0,2 \quad (3.45)$$

- Tegangan di bawah pelat anker :

$$f_t = \frac{P}{A_p} \quad (3.46)$$

- Kuat lentur pelat sayap
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.2
$$\phi R_b = \phi \cdot 6,25 \cdot t_r^2 \cdot f_y \quad (3.47)$$

- Kuat leleh pelat badan
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3
$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y \quad (3.48)$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

N = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k .

- Kuat tekuk dukung pelat badan
SNI 03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)
$$\phi R_b = 0,39 \cdot t_w^2 \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \quad (3.49)$$

- Kuat tekuk lentur pelat badan
SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6
$$\phi R_b = \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E f_y} \quad (3.50)$$

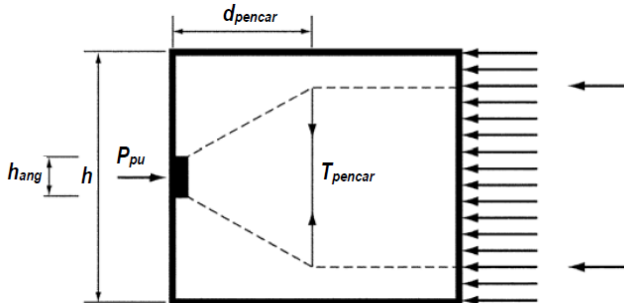
3.7.2 Desain anker pada *pylon*

Anker kabel yang dipasang menyesuaikan jumlah *strand* kabel yang telah dihitung. Analisa ini meliputi cek tegangan pada beton pada saat pemberian gaya tarik (*stressing*).

Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan *stressing*.

Sesuai SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.2 untuk daerah umum digunakan rumus :

$$T_{pencar} \sim 0,25 P_{pu} \quad (3.51)$$



Gambar 3. 16 Daerah umum pada penampang persegi

3.8 Analisis Dinamis

Perilaku aerodinamis akibat angin terhadap jembatan *cable stayed* perlu untuk dianalisa dan dikontrol, karena perilaku ini merupakan salah satu penyebab terjadinya kegagalan struktur. Analisa stabilitas pada desain ini meliputi *vortex-shedding* (tumpahan pusaran angin) dan *flutter* (efek ayunan). Akan tetapi dalam menganalisa efek angin yang bekerja pada jembatan seperti desain ini, sebenarnya perlu juga adanya *wind tunnel test* menggunakan model.

3.8.1 Efek Vortex-Shedding (Pusaran Angin)

Pada kecepatan angin tertentu yang disebut dengan kecepatan kritis, akan terjadi pusaran angin (*vortex-shedding*). Untuk memperoleh nilai percepatan kritis tersebut, digunakan persamaan angka Strouhal (S).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (3.52)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

S = Angka Strouhal

f_B = Frekwensi alami lentur balok

h = Tinggi lantai kendaraan

V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

Selanjutnya dilakukan evaluasi efek pusaran dengan angka *Reynold* (Re). Akibat kecepatan angin yang bekerja besarnya angka *Reynold* harus memenuhi persyaratan, nilai Re harus berkisar antara $10^5 - 10^7$. Berikut persamaan untuk angka *Reynold*.

$$Re = \frac{VB}{\bar{\nu}} \quad (3.53)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

Re = Angka *Reynold*

V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

B = Lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$ = Viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$)

Akibat adanya terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} Ch \quad (3.54)$$

(Walther, 1999)

Dimana :

F_o = Gaya angkat

ρ = Berat volume udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)

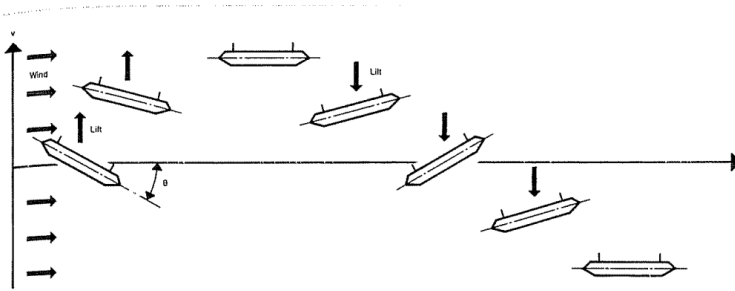
V = Kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

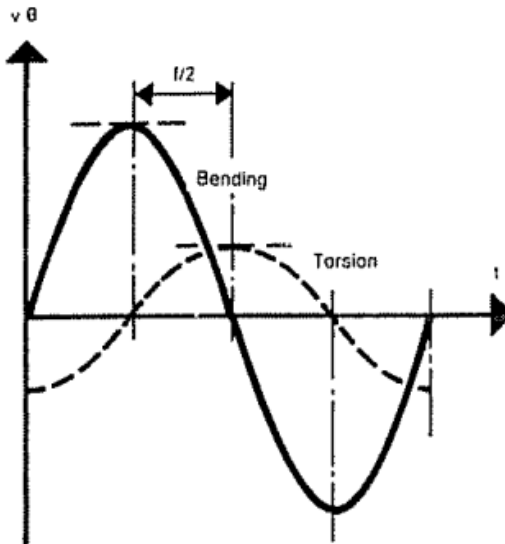
h = Tinggi lantai kendaraan

3.8.2 Efek Flutter (Efek Ayun)

Fenomena efek ayunan yang terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Maka dari itu desain yang ideal, nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase sebesar $\pi/2$ atau berkisar 1,57 detik. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3. 17 Representasi sederhana *flutter* pada lantai kendaraan jembatan



Gambar 3. 18. Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$.
(Walther dkk, 1999)

3.9 Kontrol Stabilitas

Analisa permodelan stabilitas aerodinamis jembatan *cable-stayed* menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

3.10 Pengerjaan Gambar

Tahapan akhir dari perencanaan berupa penyusunan gambar kerja, dalam pengerjaannya digunakan program bantu AutoCAD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PERHITUNGAN dan PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

Dalam melakukan perhitungan suatu struktur jembatan, perlu dilakukan perkiraan dari dimensi-dimensi elemen struktur awal jembatan berdasarkan referensi terkait yang disesuaikan dengan parameter yang telah ada sebelumnya. Tataan sistem kabel, dimensi awal gelagar, kabel dan *pylon* akan digunakan sebagai data awal untuk menganalisa struktur tersebut. Jika dalam analisa selanjutnya ternyata dimensi awal tidak memenuhi syarat kemampuan strukturnya, maka parameter-parameter sebelumnya dapat diubah seperlunya.

4.1.1 Gelagar

4.1.1.1 Gelagar Melintang

Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil WF Waldded, dengan :

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{9}$$

dimana panjang balok (L) = 11 m

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{11}{9} = 1,222 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 1300.550.28.34

$$d = 1300 \text{ mm} \qquad \qquad \qquad tw = 28 \text{ mm}$$

$$bf = 550 \text{ mm} \qquad \qquad \qquad tf = 34 \text{ mm}$$

$$w = 477,28 \text{ kg/m}$$

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

4.1.1.2 Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang direncanakan menggunakan profil WF, dengan :

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{12}$$

dimana panjang balok (L) = 5 m

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{5}{12} = 0,416667 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 500.300.11.15

$$d = 500 \text{ mm} \quad tw = 11 \text{ mm}$$

$$bf = 300 \text{ mm} \quad tf = 15 \text{ mm}$$

$$r = 26 \text{ mm} \quad w = 114 \text{ kg/m}$$

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

4.1.1.3 Gelagar kantilever

Gelagar kantilever direncanakan menggunakan profil WF, dengan

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{L}{6}$$

dimana panjang balok (L) = 0.25 m

$$\text{Tinggi balok (d)} \geq \frac{1,5}{6} = 1,222 \text{ m}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 300.150.6,5.9

$$d = 300 \text{ mm} \quad tw = 6,5 \text{ mm}$$

$$bf = 150 \text{ mm} \quad tf = 9,0 \text{ mm}$$

$$r = 13 \text{ mm} \quad w = 36,72 \text{ kg/m}$$

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

4.1.2 Box girder

Gelagar utama direncanakan menggunakan profil *Twin rectangle box girder*. Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Contruction & Design of Cable-Stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

$$\begin{aligned}\text{Tinggi box girder (h)} &= \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \\ &= \frac{1}{40} 200 \geq h \geq \frac{1}{100} 200 \\ &= 5 \geq h \geq 2\end{aligned}$$

Dalam desain ini, nilai tinggi *box girder* direncanakan dengan perbandingan (L/88.5).

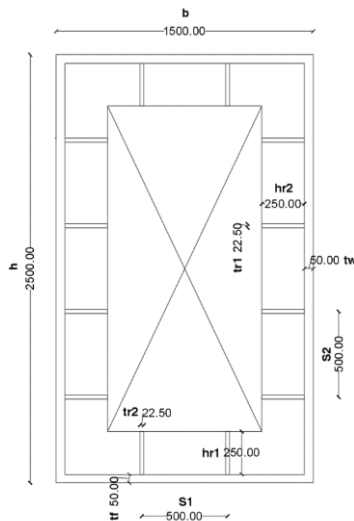
$$\begin{aligned}h &= \frac{200}{72} \\ &= 2,25 \text{ m}\end{aligned}$$

Dipakai perkiraan awal dimensi *box girder* :

$$h = 2,5 \text{ m}$$

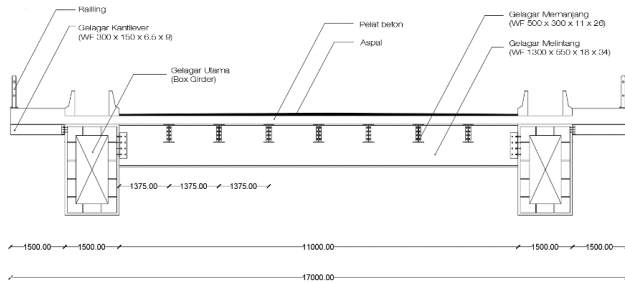
$$b = 1,5 \text{ m}$$

untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.1**



Gambar 4. 1 Preliminary Box Girder

Preliminary deck jembatan dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



Gambar 4. 2 Penampang Melintang Dek (dalam meter)

4.1.3 Kabel

4.1.1.1 Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Double Planes System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi Harp Pattern*, lihat **Gambar 4.3**

1) Jarak Pemasangan

Pada modifikasi perencanaan ini direncanakan konstruksi gelagar utama dari material baja. Jarak kabel pada gelagar menurut Whalter dkk. (1999) :

- Dek beton (5 m – 10m)
- Dek baja (15 m – 25 m)

Pada desain ini menggunakan jarak kabel pada gelagar 20 m.

2) Material

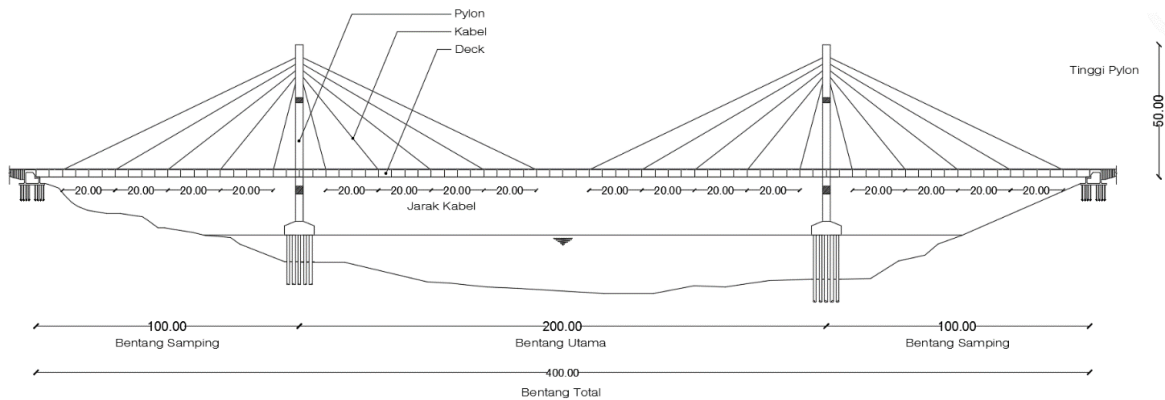
Kabel yang digunakan berupa *stranded-cables* yang tersusun dari 7 buah kawat diameter 15,2 mm ASTM A416-74 Grade 270 dengan spesifikasi pada **Tabel 4.1**

3) Tinggi *pylon* (h), menurut Parke dan Huson (2008) dapat diperkirakan dengan perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) dengan kisaran nilai 0,2 – 0,25.

Direncanakan $(H/L) = 0,25$

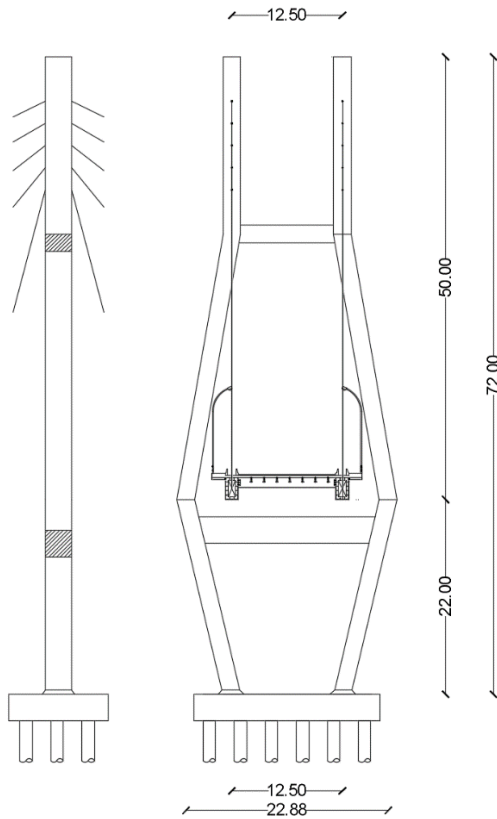
L = 200 m

Maka diperoleh H = 171 m. $0,25 = 50$ m



Gambar 4. 3 Susunan Kabel Arah Memanjang Berupa Semi-Harp Pattern (dalam meter)

Ilustrasi susunan kabel arah melintang jembatan, dapat dilihat pada **Gambar 4.4**



Gambar 4. 4 Susunan Kabel Arah Melintang Berupa Double Planes System (dalam meter)

4.1.1.2 Dimensi Kabel dan Angker

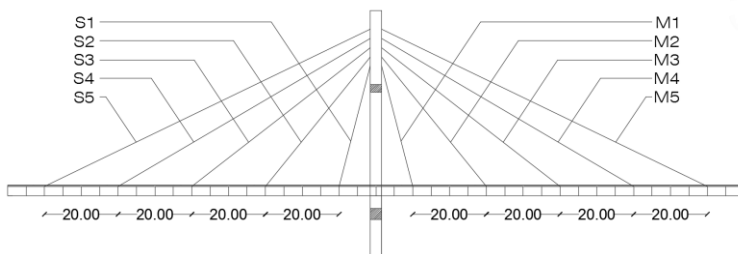
Menurut RSNI T-03-2005 pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 N/mm^2 .

Ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat **Tabel 4.1**:

Tabel 4. 1 Jenis Kabel dan Angker

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
\varnothing (mm)	15,2	15,7
A_s (mm ²)	140	150
f_u ($f_{ijin}=0,7f_u$)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand	

Dalam perencanaan akan digunakan kabel tipe ASTM A 417-06 Grade 270 (15,2 mm ; 1860 Mpa). Kabel bentang tepi (*side span*) diberi symbol “S” dan bentang tengah (*mid span*) diberi symbol “M”. Penomoran kabel dimulai dari kabel yang terdekat dengan pylon



Gambar 4. 5 Tatanan sistem kabel dan penamaan kabel

Dimensi awal kabel didekatkan dengan persamaan berikut (Gimsing, 1983) :

$$A_{sc_0} = \frac{(W\lambda + P)\cos\theta}{\frac{(0,8f_u)\sin 2\theta}{2} - \gamma \cdot a}$$

Dimana

A_{sc_0} = Luas penampang kabel

W = Beban mati dan hidup merata

P = Beban terpusat

λ = Jarak antar angker kabel pada gelagar

θ = Sudut kabel terhadap horizontal

γ = Berat jenis kabel (77,01 kN/m³)

f_u = Tegangan putus kabel (1860 Mpa = 1860000 kN/m²)

A = Jarak mendatar dari *pylon* ke angker kabel pada gelagar

Jumlah kabel (n)

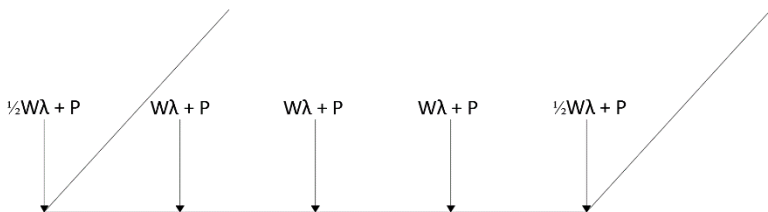
$$n = \frac{A_{sc}}{A_s}$$

Dimana

A_s = Luas penampang kabel

1) Perhitungan $W\lambda + P$

Karena per kabel dibebani oleh 4 gelagar melintang, maka :



Gambar 4. 6 Reaksi gelagar melintang yang dipikul kabel

a) $W_L + P$ Balok Melintang

Berat Jenis :

$$\text{Baja} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Aspal} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Bekisting} = 50 \text{ kg/m}^2$$

Beban Mati :

• Gelagar Melintang

$$\begin{aligned} W &= (477,28 \times 11 \times 1,1) / 2 \\ &= 2887.544 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned} W &= (114 \times 1.1 \times 11) / 2 \\ &= 689.7 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Plat Beton

$$\begin{aligned} W &= (2400 \times 5 \times 0.23 \times 1.3 \times 11) / 2 \\ &= 19734 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Bekisting

$$\begin{aligned} W &= (50 \times 5 \times 1.4 \times 11) / 2 \\ &= 3850 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Aspal

$$\begin{aligned} W &= (2200 \times 5 \times 0.05 \times 2 \times 11) / 2 \\ &= 6050 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah beban mati yang bekerja } W &= 33211.24 \text{ kg} \\ &= 332,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Hidup

• Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} W &= q \times \text{lebar jalan} \times \text{panjang gelagar} \times (1 + \text{FBD}) \times 2 \\ &= 693 \text{ kN} \end{aligned}$$

• Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P = 49 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W &= P_{\text{kel}} \times (1 + \text{fbd}) \times 2 \\ &= 700.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Melintang} = 332,11 + 693 + 700.7$$

$$= 1725.81 \text{ kN}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Melintang} \times 4 = 1725.81 \text{ kN} \times 4$$

$$= 6903.24 \text{ kN}$$

b) $W\lambda + P$ Balok Kantilever

Beban Mati :

- Gelagar Kantilever

$$W = (36.72 \times 5 \times 1,1) / 2$$

$$= 30.29 \text{ kg}$$

- Trotoar

$$W = (2400 \times 5 \times 0,23 \times 2 \times 11) / 2$$

$$= 5382 \text{ kg}$$

- Bekisiting

$$W = (500 \times 5 \times 1.4 \times 11) / 2$$

$$= 262.5 \text{ kg}$$

Jumlah beban mati yang bekerja $W = 5674.79 \text{ kg}$

$$= 56.74 \text{ kN}$$

Beban Hidup

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$W = q \times \text{lebar jalan} \times (1 + \text{FBD}) \times 2$$

$$= 87.75 \text{ kN} = 8775 \text{ kg}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P = 49 \text{ kN}$$

$$W = P_{\text{kel}} \times (1 + \text{fbd}) \times 2$$

$$= 95.55 \text{ kN} = 9555 \text{ kg}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Melintang} = 56.74 \text{ kN} + 87.75 \text{ kN} + 95.55 \text{ kN}$$

$$= 144.49 \text{ kN}$$

$$W\lambda + P \text{ Balok Melintang} = 144.49 \times 4$$

$$= 960.19 \text{ kN}$$

c) $W\lambda$ Gelagar Utama

$$W = 2 \times A \times 7850$$

$$= 2 \times 0,4945 \times 7850$$

$$= 7763.65 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 W\lambda &= W\lambda \times L \times 1.1 \\
 &= 7763.65 \times 20 \times 1.1 \\
 &= 170800.3 \text{ kg} \\
 &= 170,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d) P anker

$$\begin{aligned}
 P &= 500 \text{ kg (asumsi)} \\
 &= 5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi } W\lambda + P \text{ total} &= 6903.24 \text{ kN} + 960.19 \text{ kN} + 170,8 \text{ kN} + 5 \text{ kN} \\
 &= 9576.44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kabel diberikan contoh kabel S₁,

$$a = 20 \text{ m}$$

$$\theta = 26^\circ$$

$$W\lambda + P = 878615,9 \text{ kg}$$

$$A_s = 140 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{(W\lambda + P) \cdot \cos\theta}{\frac{(0,8xfu) \sin(2\theta^\circ)}{2} - \gamma \cdot a} \\
 A_{sc} &= \frac{(9576.44) \cos 26^\circ}{\frac{(0,8x186000000) \sin(2x26^\circ)}{2} - 7850x20} \\
 &= 0.014720547 \text{ m}^2 = 14720.54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kabel} &= \frac{A_{sc0}}{A_s} \\
 &= \frac{14720.54}{140} \\
 &= 106 \text{ kabel}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 2 Perhitungan penampang dan jumlah *strand* kabel

No	a (°)	Wλ + P (kg)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	n (kabel)
S ₅	26	957644	20	0.0147	14720.5	106
S ₄	30	957644	40	0.0129	12934.6	93
S ₃	38	957644	60	0.0105	10522.1	76
S ₂	51	957644	80	0.0084	8353.4	60
S ₁	75	957644	100	0.0068	6806.4	49
M ₁	75	957644	100	0.0068	6806.4	49
M ₂	51	957644	80	0.0084	8353.4	60
M ₃	38	957644	60	0.0105	10522.1	76
M ₄	30	957644	40	0.0129	12934.6	93
M ₅	26	957644	20	0.0147	14720.5	106

Perhitungan jumlah kabel diberikan contoh kabel S₁,

$$r = \sqrt{\frac{\pi}{A_{kabel}}}$$

Kabel S₁

$$A_{kabel} = 0.014720547 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{\pi}{A_{kabel}}} \\ &= \sqrt{\frac{\pi}{0.014720547}} \\ &= 0.068 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 2r \\ &= 2 \cdot 0.068 \\ &= 0.137 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4. 3 Perhitungan penampang dan jumlah *strand* kabel

No	r	d
	m	m
S ₅	0.068	0.137
S ₄	0.064	0.128
S ₃	0.058	0.116
S ₂	0.052	0.103
S ₁	0.047	0.093
M ₁	0.047	0.093
M ₂	0.052	0.103
M ₃	0.058	0.116
M ₄	0.064	0.128
M ₅	0.068	0.137

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan akibat berat sendiri. Tetapi dalam analisa dapat digunakan kabel yang lurus dengan koreksi pada nilai modulus elastisitasnya, sebagai berikut (Munaf dan Ryanto, 2004) :

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma \cdot l)^2}{12 \cdot \sigma^3} E}$$

Dimana :

E_{eq} = Modulus elastisitas ekivalen

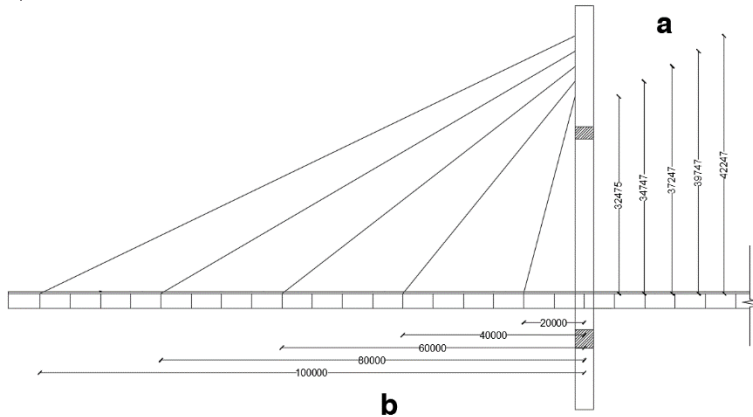
E = Modulus elastisitas kabel = 200000 Mpa

γ = Berat jenis kabe = 77 kN/m³ = 77 x 10⁻⁶ N/mm³

σ = Tegangan tarik dalam kabel = 0,7 f_u = 1302 Mpa

l = Jarak titik gantung kabel = $\sqrt{a^2 + b^2}$

Perhitungan modulus elastisitas ekivalen masing-masing kabel diberikan contoh kabel L₁,



Gambar 4. 7 Tatanan sistem kabel

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{a^2 + b^2} \\
 &= \sqrt{32,475 + 20^2} \\
 &= 38.1395546 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{eff}} &= \frac{E_0}{1 + \left(\frac{\gamma^2 + L^2 + E_0}{12 + \sigma^3} \right)} \\
 &= \frac{2^{10}}{1 + \left(\frac{7850^2 + 38.13^2 + 2^{10}}{12 + (8.47)^3} \right)} \\
 &= 19994905726 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 199949.0573 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Perhitungan modulus elastisitas ekuivalen

No	a	b	L (a ² +b ²) ^{1/2}	Eo	γ	o	Eeff	Eeff
	(m)	(m)	(m)	(kg/m ²)	(kg/m ³)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(Mpa)
S ₅	42.247	100	108.558	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027
S ₄	39.747	80	89.330	20000000000	7850	83700000	19972085592	199720.856
S ₃	37.247	60	70.621	20000000000	7850	83700000	19982544537	199825.445
S ₂	34.747	40	52.984	20000000000	7850	83700000	19990170637	199901.706
S ₁	32.475	20	38.140	20000000000	7850	83700000	19994905726	199949.057
M ₁	32.475	20	38.140	20000000000	7850	83700000	19994905726	199949.057
M ₂	34.747	40	52.984	20000000000	7850	83700000	19990170637	199901.706
M ₃	37.247	60	70.621	20000000000	7850	83700000	19982544537	199825.445
M ₄	39.747	80	89.330	20000000000	7850	83700000	19972085592	199720.856
M ₅	42.247	100	108.558	20000000000	7850	83700000	19958802703	199588.027

Dari **Tabel 4.4** dapat diamati bahwa koreksi elastisitas yang terjadi sangatlah kecil (kurang dari 0,5%) sehingga dapat diabaikan. Hal ini berarti lendutan kabel yang terjadi sangatlah kecil, sehingga dapat dianggap sebagai kabel lurus.

4.1.4 Struktur Pylon

Besarnya dimensi *pylon* diperkirakan berdasar nilai jumlah gaya aksial tekan kabel untuk satu sisi kolom vertikal.

- 1) Material *pylon* = beton bertulang
- 2) f'_c = 40 Mpa
- 3) f_y = 400 Mpa

Luas penampang *pylon* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{perlu}} = \frac{T}{f'_c}$$

Dimana :

A_{perlu} = Luas penampang *pylon*

T = Gaya aksial total *pylon*

Asumsi, b = lebar penampang

h = tinggi penampang (1,5b)

Besarnya gaya yang terjadi pada *pylon* akibat kabel dapat dilihat pada **Tabel 4.5**

Tabel 4. 5 Perhitungan gaya aksial pada *pylon*

No	a	P
	(°)	(kg)
S ₅	26	957644.452
S ₄	30	957644.452
S ₃	38	957644.452
S ₂	51	957644.452
S ₁	75	957644.452
M ₁	75	957644.452
M ₂	51	957644.452
M ₃	38	957644.452
M ₄	30	957644.452
M ₅	26	957644.452
Total		9576444.52

Gaya aksial total (T) = 957644.45 kN

b = lebar penampang

h = tinggi penampang (1,5b), asumsi

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \frac{T}{f_{tc}} \\
 &= \frac{957644.45}{40} \\
 &= 23941.11 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{total}} &= 1,5 \times A_{\text{perlu}} \\
 &= 1,5 \times 23941.11 \\
 &= 35911.66 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

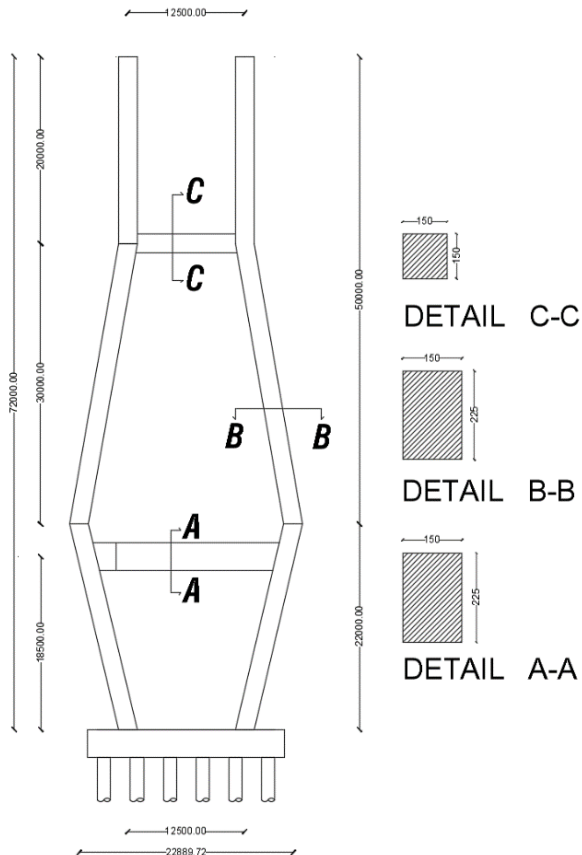
$$b = \frac{A_{total}}{1,5} = \frac{35911.66}{1,5} = 154.72 \text{ cm} = 155 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} h &= 1,5b \\ &= 1,5 \times 155 \\ &= 233 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka dimensi pylon yang diperoleh pada prelim ini adalah

$$b = 1,55 \text{ m}$$

$$h = 2,3 \text{ m}$$



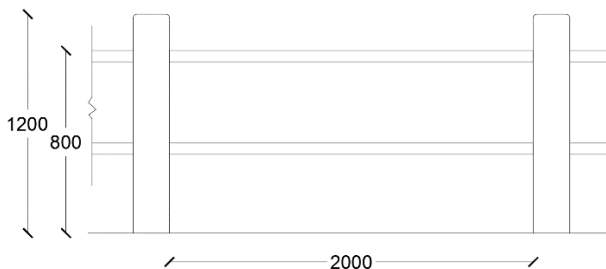
Gambar 4. 8 Dimensi Penampang Pylon (Menara)

4.2 Struktur Sekunder

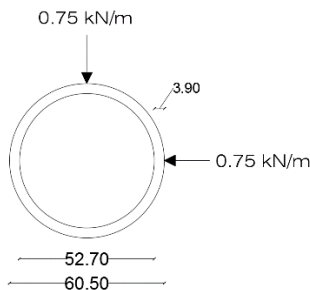
Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak mempengaruhi struktur utama atau hanya sebagai beban yang membebani struktur utama. Dalam perencanaan jembatan ini, struktur sekunder terdiri dari pelat lantai dan sandaran. Struktur sekunder dianalisa secara terpisah dengan struktur utama. Hasil perhitungan struktur sekunder dapat berlaku sebagai beban saat analisa struktur utama jembatan.

4.2.1 Pipa Sandaran

Berdasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 12.5, beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horizontal dan vertikal sebesar $w = 0,75 \text{ kN/m}$ dan bekerja pada ketinggian 120 cm dari lantai trotoar. Sandaran menggunakan profil pipa dengan diameter 60,5 mm, lihat **Gambar 4.10**



Gambar 4. 9 Tiang sandaran



Gambar 4. 10 Profil dan gaya pipa sandaran

Data perencanaan sandaran :

Panjang total jembatan = 400 m

Jarak tiang sandaran = 2 m

Bahan yang digunakan :

1. Mutu beton f_c = 370 MPa

2. Mutu baja f_y = 240 MPa

3. Pipa sandaran :

Diameter luar (d_0) = 60,5 mm

Berat pipa (q) = 5,44 kg/m

Tebal pipa (t) = 3,9 mm

4.2.1.1 Perhitungan Momen Pipa Sandaran

1. Akibat beban sendiri/ berat pipa sandaran

$$\begin{aligned} M_{VD} &= 1/8 q l^2 \\ &= 1/8 \times 5,44 \times 2^2 \\ &= 2,72 \text{ kgm} \\ &= 0,0272 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Akibat beban vertikal

$$\begin{aligned} M_{VL} &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 \times 0,75 \times 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \\ M_V &= M_{VD} + M_{VL} \\ &= 0,0272 + 0,375 \\ &= 0,4022 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Akibat beban horisontal

$$\begin{aligned} M_H &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 \times 0,75 \times 2^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen resultan } (M_R) &= \sqrt{M_H^2 + M_V^2} \\ &= \sqrt{0,4022^2 + 0,375^2} \\ &= 0,549 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.2.1.2 Cek Kekuatan Profil Pipa Sandaran

1. Cek penampang profil

$$\lambda = \frac{do}{t} = \frac{60,5}{2} = 30,25$$

$$\lambda_p = \frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{240} = 61,67$$

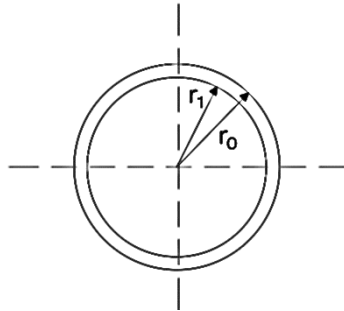
Karena $\lambda < \lambda_p$ (penampang kompak)

maka kuat lentur nominal penampang adalah $M_n = M_p = Z_x f_y$

2. Kuat lentur nominal

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{4}{3}(r_o^3 - r_1^3) \\ &= \frac{4}{3}(30,25^3 - 26,35^3) \\ &= 12513,657 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x f_y \\ &= 12513,657 \times 240 \\ &= 3003277,68 \text{ Nmm} \\ &= 3,003 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 11 Panampang Pipa Sandaran

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 3,003 \\ &= 2,702 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_R = 0,5049 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_R$$

Maka profil dapat dipakai

4.2.2 Tiang Sandaran

4.2.2.1 Penulangan Tiang Sandaran

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$Dsengkang = 8$$

$$Dlentur = 12 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$M_u = 1200000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - h_{selimut} - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{tulangan \text{ utama}} \\ &= 200 - 50 - 8 - \frac{1}{2} \cdot 12 \\ &= 166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\emptyset b \times d^2} \\ &= \frac{1200000}{0,8 \cdot 200 \times 166^2} \\ &= 0,362897373 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 \times f_{c'} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 20}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,362}{0,85 \times 20}} \right) \\ &= 0,043005952 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\ &= \frac{240}{0,85 \cdot 20} \\ &= 14,11765 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c \cdot 0,85}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 240} \\ &= 0,043005952 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,043005952 \\ &= 0,032254464 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{240} \\ &= 0,005833\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14,11765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,11765 \cdot 0,362897373}{240}} \right) \\ &= 0,001528565\end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}\rho_{max} &> \rho > \rho_{min} \\ 0,032254464 &> 0,001528565 > 0,005833 \\ \text{karena } \rho_{perlu} < \rho_{min} &\text{ maka dipakai } \rho_{min}, 0,005833\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 150 \cdot 166 \\ &= 145,22\end{aligned}$$

n tulangan = 4 buah

Kontrol jarak tulangan

$$\begin{aligned}s &= \frac{b - (2d + 2Dsengkang + nD)}{n - 1} \\ &= \frac{b - (2 \cdot 166 + 2 \cdot 8 + 4 \cdot 12)}{4 - 1} \\ &= 18 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipasang tulangan 4D12-18

Kontrol tulangan

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= 145,22 \text{ mm}^2 \\ A_{spakai} &= 452,16 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Penulangan Geser Tiang Sandaran

Kontrol tulangan

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{\sqrt{20}}{6} \cdot 150 \cdot 166 \\ &= 18559,36421 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c' &= \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,6.18559.36421 \\
 &= 6495.777475 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 W_l &= W \times l \times 1,8 \\
 &= 750 \times 2 \times 1,8 \\
 &= 2700 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban Mati

$$\begin{aligned}
 W_d &= \text{beban tiang} + \text{beban pipa} \\
 &= (B.h.tinggi \cdot \gamma \cdot 1,3) + (Q.l.1,1.2) \\
 &= (0,15 \times 0,2 \times 1,2 \times 24 \times 1,3) + (0,00544 \times 2 \times 1,1 \times 2) \\
 &= 1.1232 + 0,023936 \\
 &= 1.147136 \text{ kN} \\
 &= 1147,136
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_h &= \text{Beban mati} + \text{beban Hidup} \\
 &= 3847,136 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat

$$V_c' = 6495.775 \text{ N}$$

$$V_h = 3847,136 \text{ N}$$

$$V_c' > V_h \quad (\text{tidak perlu tulangan geser})$$

Dipakai tulangan geser praktis

D10 - 100

4.2.3 Pelat Lantai Kendaraan

4.2.3.1 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

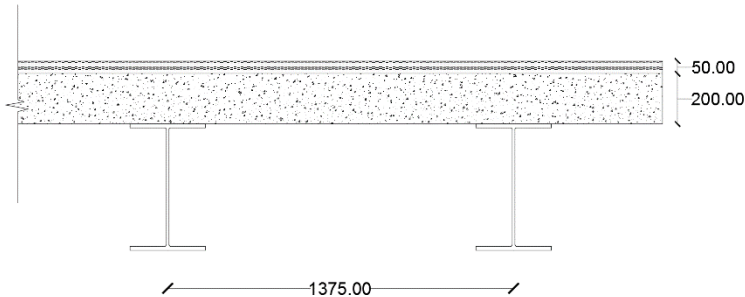
Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan lebar 1,375 m dan panjang 5 m. Berdasarkan BMS 1992 persyaratan tebal pelat (d_3) dapat dihitung dengan perumusan dibawah ini :

Ditentukan jarak antar balok memanjang (b_1) = 1,375 m

$$d_3 \geq 100 + 40 b_1, \text{ atau } d_3 \geq 200 \text{ mm}$$

$$d_3 \geq 100 + 40 (1.25)$$

$$d_3 \geq 150 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$



Gambar 4. 12 Pelat lantai kendaraan

sedangkan untuk perencanaan tebal aspal berdasarkan dapat dilihat sebagai berikut:

$$d_4 > 50 - 80 \text{ mm}$$

Dari syarat diatas maka diambil

$$\text{tebal aspal } (d_4) = 50 \text{ mm}$$

$$\text{tebal pelat } (d_3) = 200 \text{ mm}$$

4.2.3.2 Pembebanan Pelat Lantai Kendaraan

Perencanaan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai peraturan SNI 1725:2016, dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut :

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MS}}^U \\ &= 200 \text{ mm} \times 24 \times 10^{-7} \times 1000 \times 1.3 \\ &= 0.624 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= d_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MA}}^U \\ &= 50 \text{ mm} \times 22 \times 10^{-7} \times 1000 \times 1.3 \\ &= 0.11 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total } (q_{\text{mati}}) = 0.624 + 0.11 = 0.734 \text{ kg/mm}$$

- Perhitungan beban hidup

Beban roda truk = 11250 kg, dengan melihat grafik faktor kejut DLA (*Dynamic Load Allowance*) didapatkan besaran DLA yaitu 30% atau 0.3.

$$\begin{aligned}
 T &= (1 + 0.3) \times 11250 \\
 &= 14625 \text{ kg} \\
 T (q_{\text{hidup}}) &= \gamma_{\text{TT}}^U \times T \\
 &= 2 \times 14625 \\
 &= 29250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.2.3.3 Perhitungan Momen-Momen Arah Melintang

Perhitungan momen-momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup berupa beban truk dapat dilihat sebagai berikut :

- $$\begin{aligned}
 M_D &= \frac{1}{10} \times q_{\text{mati}} \times b^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 0.734 \times 1375^2 \\
 &= 138771,87 \text{ kgmm}
 \end{aligned}$$
- Perhitungan momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}
 M_L &= 0.8 \times \frac{b + 0.6}{10} \times q_{\text{hidup}} \\
 &= 0.8 \times \frac{1.375 + 0.6}{10} \times 1000 \times 29250 \\
 &= 4621500 \text{ kgmm}
 \end{aligned}$$

Momen total

$$\begin{aligned}
 M_u &= 138771,87 + 4621500 \\
 &= 4760271,875 \text{ kgmm}
 \end{aligned}$$

4.2.3.4 Perhitungan Penulangan Lentur Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan :

- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu baja tulangan utama (f_y) = 390 MPa
- Mutu baja tulangan susut (f_y) = 240 MPa
- Kebutuhan tebal decking = 40 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 12 mm
- Diameter tulangan susut (\emptyset) = 6 mm
- β ($f'_c = 25 \text{ MPa} < 28 \text{ MPa}$) = 0.764

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d &= h - \emptyset - \left(\frac{1}{2} \times D\right) - \text{decking} \\ &= 200 - 6 - \left(\frac{1}{2} \times 12\right) - 40 \\ &= 148 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{0.9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{4760271.875}{0.9 \times 1375 \times 148^2} \\ &= 1.975 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0.85 \times f'c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 40} \\ &= 11.471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{11.471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.471 \times 1.975}{390}}\right) \\ &= 0.0052 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0052 \times 1375 \times 148 \\ &= 1062.727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{Asfy}{0.85fc.b} \\ &= \frac{1062.727 \times 390}{0.85 \times 40 \times 1375} \\ &= 8.865 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b} \\ &= 11.599 \end{aligned}$$

$$c = 11.599 \leq 0.375d = 55.5 \text{ (OK)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\begin{aligned} A_{S_{perlu}} &\leq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \\ &\leq \frac{4760271.875}{0,9.390 \left(148 - \frac{8.865}{2}\right)} \\ &\leq 1062.727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{S_{min}} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25\sqrt{40}}{390} \times 1375 \times 148 \\ &= 825.0301 \text{ mm}^2 \\ A_{S_{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{390} \times 1375 \times 148 \\ &= 730.5 \end{aligned}$$

$$A_{S_{perlu}} = 1062.727 \geq A_{S_{min}} = 825.0301$$

Maka $A_{spakai} = 1062.727$

Menentukan jumlah tulangan lentur terpasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S_{tul}}} \\ &= 10 \text{ buah} \\ s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{tul}) - (2\phi)}{n - 1} \\ &= \frac{1375 - (2.40) - (10 - 12) - (2.6)}{10 - 1} \\ &= 129.22 \end{aligned}$$

$$s_{pakai} = 129,22 \geq s_{min} = 25 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lentur pelat D12 - 200

Perhitungan penulangan susut pelat lantai kendaraan

Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan f_y 400 Mpa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times A_{\text{bruto pelat}} \\
 &= 0,0018 \times 148 \times 1375 \\
 &= 495 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{tul}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6^2 \\
 &= 28,26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{tul}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tul}}}} \\
 &= 18 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

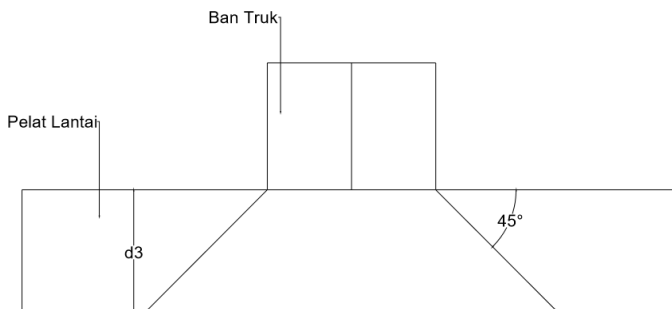
$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{\text{tul}}) - (2\phi)}{n - 1} \\
 &= \frac{5000 - (2 \cdot 40) - (18 - 12) - (2 \cdot 6)}{18 - 1} \\
 &= 276 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s = 276 > s_{\text{min}} = 25 \text{ (OK)}$$

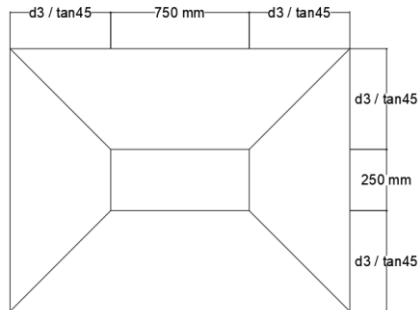
Maka digunakan tulangan susut pelat 18D6 – 276

4.2.3.5 Kontrol Penulangan Geser (Pons) Pelat Lantai Kendaraan

Perhitungan penulangan geser (*pons*) untuk pelat lantai kendaraan disesuaikan dengan ukuran roda truk, sedangkan untuk kemiringan sudut geser pons diambil sebesar 45° yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14**



Gambar 4. 13 Tampak samping ilustrasi Geser Pons



Gambar 4. 14 Tampak atas ilustrasi Geser Pons

Tebal pelat (d_3) sebesar 20 cm, perhitungan dan kontrol pelat lantai kendaraan dapat dihitung sebagai berikut :

$$b_0 = 750 + \left(2 \times \frac{d_3}{\tan 45} \right) = 750 + \left(2 \times \frac{200}{\tan 45} \right) \\ = 996.95 \text{ mm}$$

$$d_0 = 250 + \left(2 \times \frac{d_3}{\tan 45} \right) = 250 + \left(2 \times \frac{200}{\tan 45} \right) \\ = 496.95 \text{ mm}$$

$$b = 2 \times (b_0 + d_0) = 2 \times (996.95 + 496.95) \\ = 2987.80 \text{ mm}$$

$$A = b \times d_3 \\ = 2 \times (996.95 + 496.95) \\ = 597558.28 \text{ mm}^2$$

$$V_u = \gamma_{TT}^U \times 112.5 \times (1 + DLA) \\ = 2 \times 112.5 \times (1 + 0.3) \\ = 263.25 \text{ kN}$$

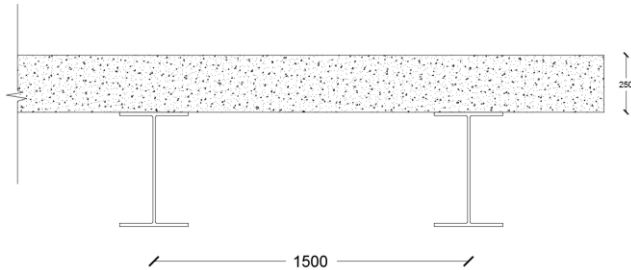
$$\phi V_n = \phi \times A \times 0.17 \times \sqrt{f_c} \\ = 0.75 \times 597558.28 \times 0.17 \times \sqrt{40} \\ = 380943.3 \text{ N} \\ = 380.943 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan besarnya $\phi V_n > V_u$. Maka pelat lantai kendaraan tanpa tulangan geser cukup kuat untuk menahan beban roda truk terpusat pada tengah bentang pelat lantai kendaraan.

4.2.4 Trotoar

4.2.4.1 Perencanaan trotoar

Perencanaan trotoar direncanakan untuk memikul beban nominal berdasarkan luasannya, trotoar direncanakan dengan lebar 1.5 m dan panjang 5 m dengan ketebalan pelat 250 mm, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.15**



Gambar 4. 15 Trotoar

4.2.4.2 Pembebanan Trotoar

Perencanaan pelat lantai kendaraan direncanakan sesuai peraturan SNI 1725:2016, dengan perhitungan pembebanan sebagai berikut :

- Perhitungan beban mati

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri pelat} &= d_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 250 \text{ mm} \times 24 \times 10^{-7} \times 1000 \times 1.3 \\ &= 0.78 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pipa sandaran} &= q_{\text{sandaran}} \times n_{\text{pipa}} \\ &= 0.00544 \times 2 \\ &= 0.0108 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tiang sandaran} &= (b.d.L) \times \gamma_{\text{beton}} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \times 1000 \text{ mm} \times n_{\text{tiang}} \\ &= (150 \times 200 \times 1200) \times 24 \times 2 \times 1000 \times 3 \\ &= 0.518 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\text{Berat total } (q_{\text{mati}}) = 0.78 + 0.0108 + 0.518 = 1.309 \text{ kg/mm}$$

- Perhitungan beban hidup

$$\begin{aligned}\text{Pejalan kaki} &= q_{\text{pejalan kaki}} \times 1000 \text{ mm} \times \gamma_{\text{MS}}^{\text{U}} \\ &= 5 \times 10^{-4} \times 1000 \times 1.5 \\ &= 0.75 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

4.2.4.3 Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen arah melintang akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_D &= ((q \times 5) + p) \times 0.5 \\ &= ((0.78 + 0.0108) \times 5) + 0.518) \times 0.5 \\ &= 2236.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_L &= (q \times 5) \times 0.5 \\ &= (0.75 \times 5) \times 0.5 \\ &= 0.1875 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hmati :

$$\begin{aligned} M_D &= (V_D \times 2.5) - (q \times 5 \times 2.5 + p \times (0.5 + 2.5 + 4.5)) / 5 \\ &= (2236.4 \times 2.5) - (790.88 \times 5 \times 2.5 + 172.8 \times (0.5 + 2.5 + 4.5)) / 5 \\ &= 2903.5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned} M_L &= (V_L \times 2.5) - (q \times 2.5 \times 1.25) \\ &= (0.1875 \times 2.5) - (0.75 \times 2.5 \times 1.25) \\ &= 2343.75 \text{ kgmm} \end{aligned}$$

Momen total

$$\begin{aligned} M_u &= 2903.5 + 2343.75 \\ &= 5247.25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

4.2.4.4 Perhitungan Penulangan Trotoar

Pelat lantai kendaraan akan ditulangi dengan penulangan rangkap atas dan bawah. Berikut ini merupakan data perencanaan lantai kendaraan :

- Mutu beton (f'_c) = 40 MPa
- Mutu baja tulangan utama (f_y) = 390 MPa
- Mutu baja tulangan susut (f_y) = 240 MPa
- Kebutuhan tebal decking = 40 mm
- Diameter tulangan utama (D) = 12 mm
- Diameter tulangan susut (\emptyset) = 6 mm
- β ($f'_c = 25 \text{ MPa} < 28 \text{ MPa}$) = 0.764

Perhitungan penulangan lentur lantai kendaraan dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d &= h - \emptyset - \left(\frac{1}{2} \times D\right) - \text{decking} \\ &= 200 - 6 - \left(\frac{1}{2} \times 12\right) - 40 \\ &= 148 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{0.9 \times b \times d^2} \\ &= \frac{52472500}{0.9 \times 1500 \times 148^2} \\ &= 1.99 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{0.85 \times f'c} \\ &= \frac{390}{0.85 \times 40} \\ &= 11.471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{11.471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.471 \times 1.99}{390}}\right) \\ &= 0.0052 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pasang}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0052 \times 1500 \times 148 \\ &= 1171.834 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0.85 f'c \times b} \\ &= \frac{1171.834 \times 30}{0.85 \times 40 \times 1500} \\ &= 8.961 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b} \\ &= 11.724 \end{aligned}$$

$$c = 11.724 \leq 0.375d = 55.5 \text{ (OK)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &\leq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \\
 &\leq \frac{52472500}{0,9.390 \left(148 - \frac{8.961}{2}\right)} \\
 &\leq 1062.727 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{min}} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} x b x d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{40}}{390} x 1375 x 148 \\
 &= 1171.834 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} x b x d \\
 &= \frac{1,4}{390} x 1500 x 148 \\
 &= 796.923
 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{perlu}} = 1171.834 \geq A_{s\text{min}} = 796.923$$

$$\text{Maka } A_{s\text{pakai}} = 1171.834$$

Menentukan jumlah tulangan lentur terpasang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} \\
 &= 11 \text{ buah} \\
 s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{\text{tul}}) - (2\phi)}{n - 1} \\
 &= \frac{1500 - (2.40) - (11 - 12) - (2.6)}{11 - 1} \\
 &= 140.9
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} = 140.9 \geq s_{\text{min}} = 25 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lentur pelat D12 - 140

Perhitungan penulangan susut trotoar

Perhitungan tulangan susut dapat dilihat mutu tulangan fy 400 Mpa, paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang sebesar 0,0018 (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times A_{\text{bruto pelat}} \\ &= 0,0018 \times 148 \times 1500 \\ &= 399,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{tul}}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6^2 \\ &= 28,26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tul}} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tul}}}} \\ &= 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - (2d) - (n - D_{\text{tul}}) - (2\emptyset)}{n - 1} \\ &= \frac{5000 - (2 \cdot 40) - (14 - 12) - (2 \cdot 6)}{14 - 1} \\ &= 364.61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s = 364.61 > s_{\text{min}} = 25 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut pelat D6 - 365

4.3 Gelagar

4.3.1 Gelagar Memanjang

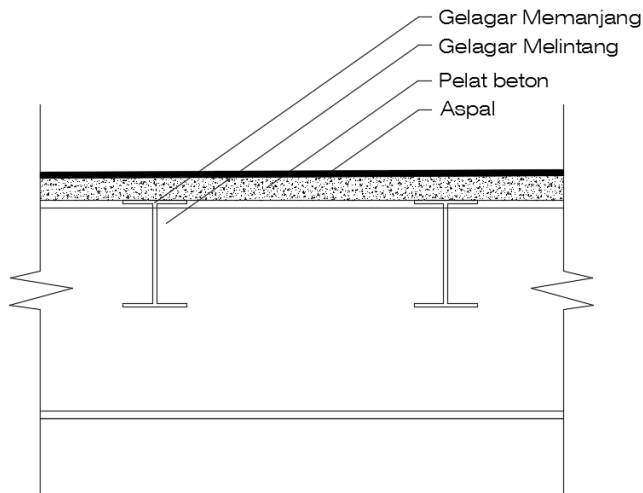
4.3.1.1 Perencanaan Gelagar Memanjang

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada **Gambar 4.16**, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan ultimate (f_u) = 40 kg/mm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa



Gambar 4. 16 Gelagar memanjang jembatan

Perencanaan gelagar memanjang menggunakan profil WF 400.300.9.14 dengan data detail profil sebagai berikut :

$A = 120.1 \text{ cm}^2$	$i_x = 16.7 \text{ cm}$
$d = 386 \text{ mm}$	$i_y = 7.21 \text{ cm}$
$b_f = 299 \text{ mm}$	$I_x = 33700 \text{ mm}^4$
$t_w = 9 \text{ mm}$	$I_y = 6240 \text{ cm}^4$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$Z_x = 1846 \text{ cm}^3$
$r = 22 \text{ mm}$	$Z_y = 633 \text{ cm}^3$
$w = 94.3 \text{ kg/m}$	$h = 314 \text{ mm}$

4.3.1.2 Pembebanan Gelagar Memanjang

- **Beban Mati Ultimate**

Pelat beton : $0,2 \times 2400 \times 1,375 \times 1,3 = 858 \text{ kg/m}$

Aspal : $0,05 \times 2250 \times 1,375 \times 2 = 302,5 \text{ kg/m}$

Bekisting : $50 \times 1,375 \times 2 = 137,5 \text{ kg/m}$

Berat Sendiri: $9,43 \times 1,1 = 103,73 \text{ kg/m}$

$Q_D : 858 + 302,5 + 137,5 + 103,73 = 1401,73 \text{ kg/mm}$

- **Beban Hidup Ultimate**

Beban Terbagi Rata (BTR)

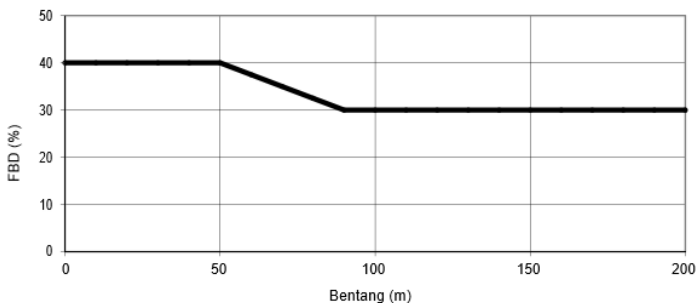
$L = 5 \text{ m} < 30 \text{ m}$, maka $q = 9.0 \text{ kPa}$ (SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1)

$$\begin{aligned} Q_L &= q \times b_1 \times \gamma_{TD}^U \\ &= 900 \times 1,375 \times 2 \\ &= 2475 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Garis (BGT)

Beban garis (BGT) sebesar $p \text{ kN/m}$ ditempatkan tegak lurus dari arah lalu-lintas pada jembatan dimana besarnya $P = 49 \text{ kN}$. Faktor beban dinamik yang berlaku untuk KEL ditentukan melalui **Gambar 4.17** dibawah sehingga didapatkan nilai $DLA = 30\%$. Beban garis yang bekerja sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_1 &= (1 + DLA) \times P \times b_1 \times \gamma_{TD}^U \\ &= (1 + 0.3) \times 4,9 \times 1,375 \times 2 \\ &= 17517,5 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 4. 17 Faktor Beban Dinamis (SNI 1725:2016 Gambar 28)

Beban Truk (T)

Beban Truk (T) adalah 112,5 kN (SNI 1725:2016 pasal 8.4) dengan faktor kejut DLA = 0,3. Beban truk yang bekerja sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_u &= T \times (1 + DLA) \times \gamma_{TT}^U \\ &= 112,5 \times (1 + 0,3) \times 2 \\ &= 292,50 \text{ kN} = 29250 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.3.1.3 Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut :

- Beban Mati Ultimate

$$\begin{aligned} M_D &= \frac{1}{8} \times Qd \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1401,73 \times 5^2 \\ &= 4380,40625 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned} M_{L1} &= \left(\frac{1}{8} \times Q_L \times \lambda \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_1 \times \lambda \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 2475 \times 5 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 17517,5 \times 5 \right) \\ &= 29631,25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{L2} &= \frac{1}{4} \times T_u \times \lambda \\ &= \frac{1}{4} \times 29250 \times 5 \\ &= 36562,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Karena $M_{L2} > M_{L1}$ maka dipakai momen terbesar akibat beban hidup yaitu $M_L = M_{L2} = 36562,5 \text{ kgm}$, sehingga momen *ultimate* akibat beban hidup dan beban mati sebesar :

$$\begin{aligned} M_U &= M_D + M_L \\ &= 4380,40625 + 36562,5 \\ &= 40942,90625 \text{ kgm} \end{aligned}$$

4.3.1.4 Kontrol Profil Gelagar Memanjang

4.3.1.4.1 Kontrol Local Buckling

Kontrol penampang:

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{299}{2 \times 14} \leq \frac{170}{\sqrt{250}} \quad 10,67 < 10,75 \quad \mathbf{OK}$$

$$\text{Badan} : \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{314}{9} \leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 34,89 < 106,25 \quad \mathbf{OK}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \quad (\text{SNI 1729-2015, F2-1}) \\ &= 1846 \times 2500 \\ &= 4615000 \text{ kgcm} = 46150 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \quad (\text{SNI 1729-2015, F1, 1}) \\ &= 0,9 \times 46150 \\ &= 415350 \text{ kgmm} > M_u = 40942,906 \text{ kgmm} \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

4.3.1.4.2 Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 500 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015, F2-5}) \\ &= 358,916 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_R &= i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f_L^2}} \\ &= 1056,783 \end{aligned}$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 2500 - 700 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 J &= \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ pelat badan } b = d - 2t_f = 386 - 2(14) = 358 \text{ mm} \\
 &= \left(\frac{1}{3} \times 35,8 \times 1,4^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 29,9 \times 0,9^3 \right) \\
 &= 40,0107 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_w &= x \frac{(h')^2}{4}; h' = d - t_f = 386 - 13 = 372 \text{ mm} \\
 &= 6240 x \frac{37,2^2}{4} \\
 &= 2158790,4 \text{ cm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} x \sqrt{\frac{E G J A}{2}}; \text{ modulus geser } (G) = 800000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{\pi}{1740} x \sqrt{\frac{2 \times 10^6 \times 8 \times 10^5 \times 40,01 \times 120,1}{2}} \\
 &= 11188,4696 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

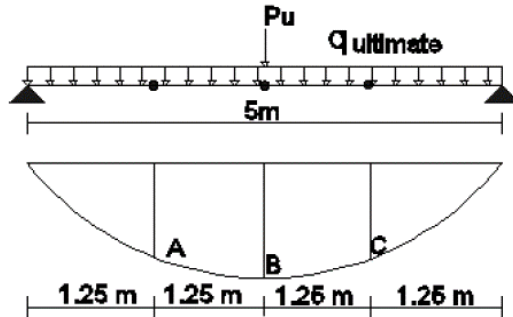
$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 x \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2 x \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 x \left(\frac{1740}{8 \times 10^5 \times 40,0107} \right)^2 x \frac{2158790,4}{6240} \\
 &= 4,08932 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= i_y x \left(\frac{X_1}{f_{y-f_r}} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \cdot f_L}} \\
 &= 7,21 x \left(\frac{111888,4696}{1800} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{4,089 \times 10^{-6} \times 1800^2}} \\
 &= 979,326 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$L_P = 358,916 \text{ cm} < L_B = 500 \text{ cm} < L_R = 979,326 \text{ cm}$$

Karena $L_P < L_B < L_R$ maka termasuk bentang menengah. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = C_b x (M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P})$$



Gambar 4. 18 Titik Momen pada Gelagar Memanjang

$$\begin{aligned}
 q_u &= (1,2q_D) + (1,6q_L) \\
 &= (1,2 \cdot 1401,73) + (1,6 \cdot 2475) \\
 &= 5642,076 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1,6 \cdot P_{KEL} \\
 &= 1,6 \cdot 17517,5 \\
 &= 28028 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{A-C} &= \frac{q_u \cdot L}{2} + \frac{P_U}{2} \\
 &= 28119,19 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{A-C} &= (V_{A-C} \cdot 2,5) - (0,5 \cdot q_u \cdot 2,5^2) \\
 &= (28119,19 \cdot 2,5) - (0,5 \cdot 5642,076 \cdot 2,5^2) \\
 &= 30741,11563 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= (V_{A-C} \cdot 2,5) - (0,5 \cdot q_u \cdot 2,5^2) \\
 &= (28119,19 \cdot 2,5) - (0,5 \cdot 5642,076 \cdot 2,5^2) \\
 &= 52666,4875 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{1,25 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,30 \text{ (SNI 1729-2015, F1-1)} \\
 &= 1,249 \leq 2,30 \quad \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_R &= Sx \times (fy - fr) \\
&= 1740 \times (2500 - 700) \\
&= 3132000 \text{ kgcm} \\
M_p &= Zx \cdot fy \\
&= 4615000 \text{ kgcm} \\
M_n &= C_b \times (M_R + (M_P - M_R) \frac{L_R - L_B}{L_R - L_P}) \text{ (SNI 1729-2015, F2-2)} \\
&= 5346042.158 \text{ kgcm} \\
\phi M_n &= 0.9 \times 5346042.158 \\
&= 4811437.942 \text{ kgm} \\
\phi M_n &= 4811437.94 \text{ kgcm} > M_U = 4094290.62 \text{ kgcm} \quad \textbf{(OK)}
\end{aligned}$$

4.3.1.4.3 Kontrol Rencana Geser

Kontrol penampang :

$$\begin{aligned}
\text{Badan : } \frac{h}{tw} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{Kn \cdot E}{Fy}} \\
\frac{378}{10} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{5.200000}{250}} \\
34,89 &\leq 69,57 \quad \textbf{(OK)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned}
V_n &= 0.6 \times fy \times Aw \\
&= 0.6 \times 25 \times (314 \times 9) \\
&= 423900 \text{ kg} \\
\text{Akibat beban truk (T)} \\
V_u &= T + (\frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot \lambda) \\
&= 29250 + (\frac{1}{2} \cdot 1401,73 \cdot 5) \\
&= 32754.325 \text{ kg} \\
\text{Akibat UDL+KEL} \\
V_u &= P_{KEL} + (\frac{1}{2} \cdot Q_{UDL} \cdot \lambda) \\
&= 17517,5 + (\frac{1}{2} \cdot 2475 \cdot 5) \\
&= 23705 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Akibat UDL+KEL dan beban mati

$$\begin{aligned} V_u &= \left[P_{KEL} + \left(\frac{1}{2} \cdot Q_{UDL} \cdot \lambda \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot \lambda \right] \\ &= \left[17517,5 + \left(\frac{1}{2} \cdot 2475,5 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot 1401,73,5 \right] \\ &= 27209,325 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{uMax} = 32754,325 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_n = 0,9 \times 423900 = 38151 \text{ kg}$$

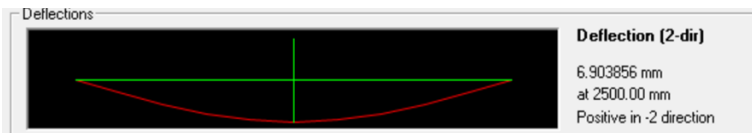
$$\emptyset V_n = 38151 \text{ kg} > V_u = 32754,32 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

4.3.1.4.4 Kontrol Lendutan

Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{800} \\ \delta &= \frac{500}{800} \\ &= 0,008333333 \text{ m} \\ &= 8,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 seperti yang terlihat pada **Gambar 4.19**, dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor



Gambar 4. 19 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi

Check lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$6,9 \text{ mm} \leq 8,3 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.3.1.5 Sambungan Gelagar

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$V_u = 327,54 \text{ kN}$$

Pelat sambung siku 1000.100.14 :

$$\begin{array}{ll} t_p = 14 \text{ mm} & f_y = 250 \text{ MPa} \\ L = 400 \text{ mm} & f_u = 400 \text{ MPa} \end{array}$$

Desain baut :

$$\begin{array}{ll} D_{\text{baut}} = 16 \text{ mm} & D_{\text{prlmhn}} = 16 + 1,5 = 17,5 \\ T_b = 9500 \text{ kg} & A_{\text{baut}} = 200,96 \text{ mm}^2 \\ f_{u\text{baut}} = 500 \text{ Mpa} & i_x = 30,78 \text{ mm} \end{array}$$

4.3.1.5.1 Sambungan pada Gelagar Memanjang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser (V}_{sf}) &= 1,13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\ &= 75,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{V_u}{V_{sf}} \\ &= \frac{327,54}{75,14} \\ &= 4,3 \\ &= 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\ &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\ &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 14 + 100) \\ &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 156 \text{ mm} \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 14 \\
 &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.1.5.2 Sambungan pada Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 1$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Geser } (V_{sf}) &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\
 &= 1.13 \times 0.35 \times 1 \times 1 \times 9500 \\
 &= 37,57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baut } (n) &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\
 &= \frac{327,54}{37,57} \\
 &= 8,7 \\
 &= 10 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
 &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 14 \\
 &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 210 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 14 + 100) \\
 &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 100 \text{ mm} \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 14 \\
 &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 168 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.1.5.3 Kontrol Pelat Penyambung

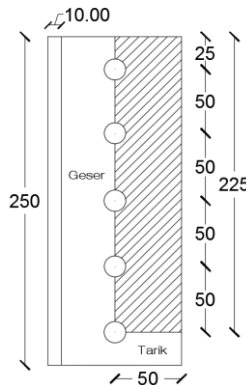
- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (S \times 4 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= (50 \times 4 + 25) \times 14 \times 2 \\ &= 6300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= 50 \times 14 \times 2 \\ &= 1400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= ((S \times 4 + S_1) - 4,5 \times (d_b + 1,5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= ((50 \times 4 + 25) - 2,5 \times (16 + 1,5)) \times 14 \times 2 \\ &= 4095 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nt} &= ((S_2 - 0,5 \times (d_b + 1,5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\ &= ((50 - 0,5 \times (16 + 1,5)) \times 14 \times 2 \\ &= 1155 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4. 20 Pelat penyambung

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= 0,6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\ &= 0,6 \times 4095 \times 500 \\ &= 1228500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned} N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\ &= 1155 \times 500 \\ &= 577500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Karena $N_n \text{ geser} > N_n \text{ tarik}$ maka :

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.6 \times A_{ev} \times f_u + A_{gt} \times f_y)$$

$$\phi R_n = 0.75 \times (0.6 \times 4095 \times 40 + 1400 \times 25)$$

$$\phi R_n = 1225875 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 1225,875 \text{ kN} > V_u = 327,54 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Leleh

$A_g = A_g \times \text{Jumlah Pelat Siku}$

$$A_g = 1400 \times 2 = 2800 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.9 \times A_g \times f_y$$

$$= 0.9 \times 2800 \times 290 = 730800 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 730,8 \text{ kN} > V_u = 327,54 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Kontrol Putus

$$A_e = A_n \times U$$

$$= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L))$$

$$= ((1300 - 1 \times (16 + 1.5) \times 14) \times 2) + (1 - (30,78 / (50 \times 4)))$$

$$= 910 \times 0.8461$$

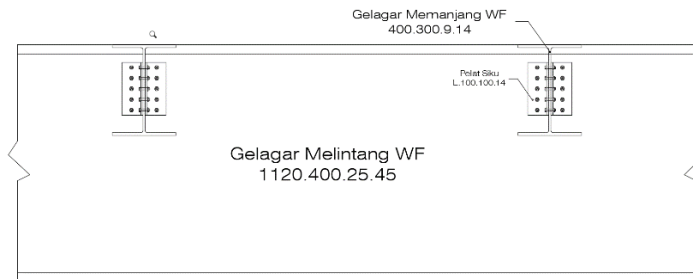
$$= 769,951 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.75 \times A_e \times f_u$$

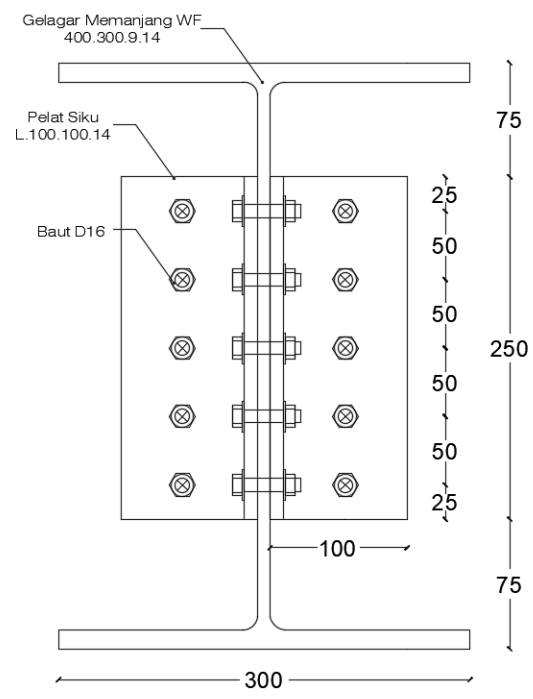
$$= 0.75 \times 769,951 \times 40 = 346477,95 \text{ kg}$$

Kontrol :

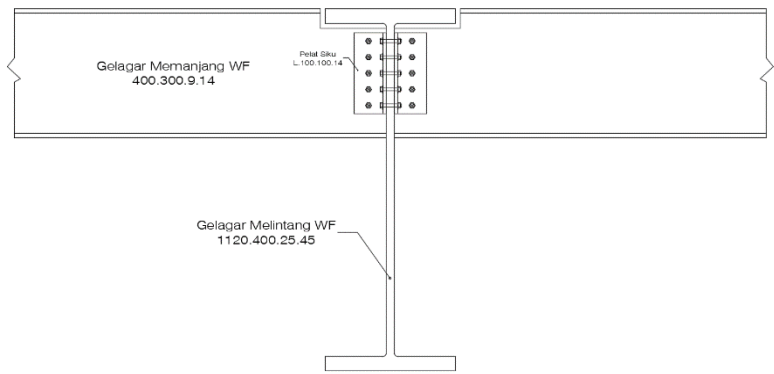
$$\phi N_n = 346,478 \text{ kN} > V_u = 327,54 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$



Gambar 4. 21 Detail sambungan gelagar memanjang ke gelagar melintang



Gambar 4.22 Detail sambungan gelagar memanjang.



Gambar 4.23 Detail sambungan potongan tampak samping

4.3.2 Gelagar Melintang

4.3.2.1 Perencanaan Gelagar Melintang

Untuk perencanaan balok melintang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan ultimate (f_u) = 410 kg/mm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa

Perencanaan gelagar melintang menggunakan profil WF 1120.405.26.45 dengan data detail profil sebagai berikut :

A = 630.66 cm ²	$i_x = 45.1232$ cm
d = 1118.108 mm	$i_y = 8.9016$ cm
$b_f = 405.13$ mm	$I_x = 1284092.1$ cm ⁴
$t_w = 25.908$ mm	$I_y = 49973.04$ cm ⁴
$t_f = 44.958$ mm	$Z_x = 26393.524$ cm ³
r = 22 mm	$Z_y = 3862.0223$ cm ³
w = 495.068 kg/m	$S_x = 22969.018$ cm ³
h = 1028.192 mm	$S_y = 2467.0127$ cm ³

4.3.2.2 Pembebanan pada Gelagar Melintang Jembatan

- Beban Mati

Beban mati (sebelum komposit)

Pelat beton : $0,2 \times 2400 \times 5 \times 1.3 = 3120$ kg/m

G.memajang: $\left(\frac{94.3 \times 5}{1.375} \right) \times 1.1 = 377.2$ kg/m

Bekisting : $50 \times 5 \times 1,4 = 500$ kg/m

Berat Sendiri: $495.06 \times 1.1 = 544.575$ kg/m

$Q_{D1} : 3120 + 377.2 + 500 + 544.575 = 4541.77$ kg/mm

Beban mati (sesudah komposit)

Aspal : $0,05 \times 2200 \times 5 \times 2 = 1100$ kg/m

$Q_{D2} : 1100$ kg/m

- Beban Hidup (sesudah komposit)

Beban UDL + KEL

$$\begin{aligned}
 P_{KEL} &= (1 + DLA) \times P \times \gamma_{TD}^U \\
 &= (1 + 0.3) \times 4900 \times 2 \\
 &= 12740 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

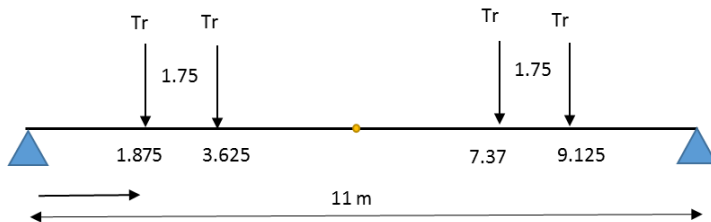
$$\begin{aligned}
 Q_{UDL} &= q \times L \times \gamma_{TD}^U \\
 &= 900 \times 5 \times 2 \\
 &= 9000 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_{UDL} + P_{KEL} \\
 &= 12740 + 9000 = 21740 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

Beban Truk (T)

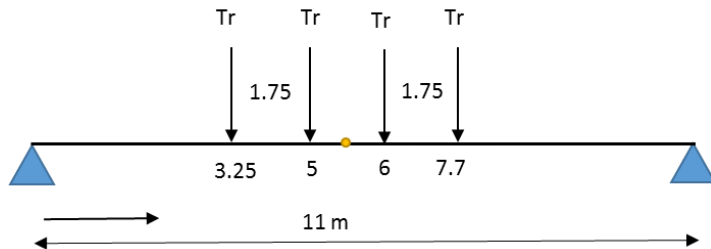
Sesuai kondisi nya pembebanan truk di modelkan dengan 2 tipe pembenanan agar mendapatkan beban truk yang paling kritis, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.25**

Tipe 1



Gambar 4. 24 Pembebanan truk tipe 1

Tipe 2



Gambar 4. 25 Pembebanan truk tipe 2

$$\begin{aligned}
 T &= (1 + DLA) \times 112.5 \times \gamma_{TD}^U \\
 &= (1 + 0.3) \times 112.5 \times 2 \\
 &= 29250 \text{ kg (dari tipe 1)}
 \end{aligned}$$

4.3.2.3 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{D1} &= \frac{Q_{D1} \times 11000}{2} \\ &= 24979.76 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{D2} &= \frac{Q_{D2} \times 11000}{2} \\ &= 6050 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{100\% \times Q_L \times 11000}{2} \\ &= 119570 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Tipe1} &= (R_a \times 11) - Tr(1.875+3.625+7.375+9.125) \\ &= 58500 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Tipe2} &= (R_a \times 11) - Tr(3.25+5+6+7.75) \\ &= 52650 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban mati :

$$\begin{aligned} M_{D1} &= 1/8 \times q_{total} \times L^2 \\ &= 68694.35 \text{ kgm} \\ M_{D2} &= 1/8 \times q_{total} \times L^2 \\ &= 16637.5 \text{ kgm} \\ M_{Dtotal} &= 68694.35 + 16637.5 \\ &= 85331.854 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban hidup :

$$\begin{aligned} ML &= (V_L \times 5.5) - (D \times 5.5 \times 2.75) \\ &= 328817.5 \text{ kgm (menentukan)} \\ M_{Tipe 1} &= V_{Tipe1} \times 5.5 - T (3.625+1.875) \\ &= 160875 \text{ kgm} \\ M_{Tipe 2} &= V_{Tipe2} \times 5.5 - T (3.75+0.5) \\ &= 177693.75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Beban total

$$\begin{aligned} M_U &= 85331.854 + 328817.5 \\ &= 4141.493547 \text{ kgm} \\ V_U &= 24979.76 + 6050 + 119570 \\ &= 150599.76 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.3.2.4 Kontrol Profil Gelagar Melintang

4.3.2.4.1 Kuat Rencana Geser

Sebelum komposit

Kontrol penampang

$$K_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{0.6875}{1.02}\right)^2} = 16,183$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} &= \frac{h}{tw} \leq 1.10 \sqrt{\frac{K_n \times E}{f_y}} \\ &= \frac{1028,192}{25,908} \leq 1.10 \sqrt{\frac{16,183 \times 200000}{250}} \\ &= 34.68 \leq 125.1619383 \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times 250 \times (1028,192 \times 25,908) \\ &= 3995759.75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 1506005 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.9 \times 3995759,75 \\ &= 359618,3775 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 3596,18 \text{ kN} > V_u = 1506 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

4.3.2.4.2 Kontrol Local Buckling

Sebelum komposit

Kontrol penampang:

$$\begin{aligned} \text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} &\leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{405,13}{2 \times 44,95} &\leq \frac{170}{\sqrt{250}} \quad 4,50 < 10,75 \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{1028,19}{25,908} &\leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \quad 39,68 < 106,25 \quad (\mathbf{OK}) \end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \text{ (SNI 1729-2015, F2-1)} \\ &= 26393,5 \times 2500 \\ &= 65983810 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \times M_n \text{ (SNI 1729-2015, F1, 1)} \\ &= 0.9 \times 65983810 \\ &= 593854.29 \text{ kgmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 5938,54 \text{ kNm} > M_u = 4141,49 \text{ kNm} \quad (\mathbf{OK})$$

4.3.2.4.3 Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 137,5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (SNI 1729-2015, F2-5)} \\ &= 443.12 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_R &= i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + x_2 f_L^2} \\ &= 1505.433385 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 2500 - 700 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} J &= \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ pelat badan } b = d - 2t_f = 386 - 2(14) = 358 \text{ mm} \\ &= \left(\frac{1}{3} \times 102,819 \times 4,49^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 40,513 \times 2,59^3 \right) \\ &= 3349,238069 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_w &= x \frac{(h')^2}{4}; h' = d - t_f = 1118,10 - 44,95 = 107.315 \text{ mm} \\ &= 44973 \times \frac{107.315^2}{4} \\ &= 143878744 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} x \sqrt{\frac{EGJA}{2}}; \text{ modulus geser (G) = } 800000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{\pi}{22969} x \sqrt{\frac{2 x 10^6 x 8 x 10^5 x 3349,23 x 630,66}{2}} \\
 &= 177706,4157 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 x \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 x \frac{I_w}{I_y} \\
 &= 4 x \left(\frac{22969}{8 x 10^5 x 3349,23} \right)^2 x \frac{143878744}{49973} \\
 &= 8,4631 x 10^{-7} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= i_y x \left(\frac{X_1}{f_y - f_r} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \cdot f_L}} \\
 &= 7,21 x \left(\frac{177706,4157}{1800} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{8,46 x 10^{-7} x 1800^2}} \\
 &= 1505,433385 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$L_P = 443,12 \text{ cm} < L_B = 137,5 \text{ cm} < L_R = 1505,43 \text{ cm}$$

Karena $L_B < L_P < L_R$ maka termasuk bentang pendek. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 26393,5.250 \\
 &= 6598381 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 x 6598381 \\
 &= 5938542,90 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 5938,54 \text{ kNm} > M_u = 4141,49 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.4.4 Kapasitas Momen

Sesudah komposit

Lebar efektif pelat

Lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari :

$$b_{\text{eff}} = \frac{1}{5} \times 11 = 2,2 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 5 \text{ mm (jarak antar gelagar melintang)}$$

Lebar efektif pelat beton diambil yang terkecil yaitu 2200 mm

Menentukan garis netral

Diket :

$$f_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$A_s' = 11304 \text{ mm}^2$$

$$f_y' = 390 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 63066,1 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

Dimana :

$$C_1 = C \text{ Beton}$$

$$c_c = c \text{ beton}$$

$$c_s = c \text{ tulangan}$$

$$C_2 = C \text{ Profil baja}$$

Maka jarak garis netral didapat :

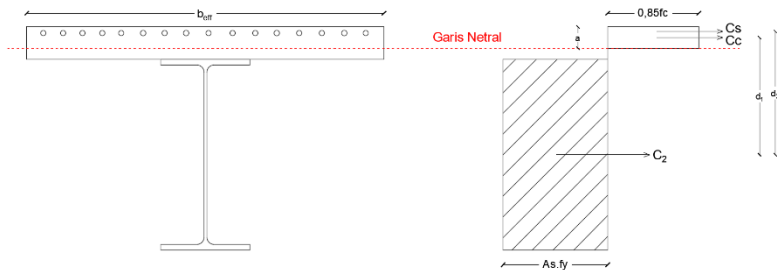
$$\begin{aligned} c_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \\ &= 0,85 \cdot 40 \cdot 2200 \cdot 200 \\ &= 14960000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_s &= A_s' \cdot f_y' \\ &= 11304 \cdot 390 \\ &= 4408560 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= c_s + c_c \\ &= 19368560 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= A_s \cdot f_y \\ &= 63066,1 \cdot 250 \\ &= 15766517,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$C_1 > C_2$, maka garis netral jatuh di beton



Gambar 4. 26 Gambar diagram profil

Mencari jarak :

$$a = \frac{C_2 - A_s f_y'}{0,85 \cdot f_c \cdot b_{eff}}$$

$$= \frac{15766517,5 - 11304 \cdot 390}{0,85 \cdot 40 \cdot 2200}$$

$$= 151,8 \text{ mm}$$

$$d_1 = (h+d) - (h/2) - (a/2)$$

$$= (1118,1+200) - (1118,1/2) - (151,8/2)$$

$$= 683,13 \text{ mm}$$

$$d_2 = (h+d) - (h/2) - \text{selimut beton}$$

$$= (1118,1+200) - (1118,1/2) - 40$$

$$= 719,05 \text{ mm}$$

Kemampuan balok komposit :

$$M_n = (0,85 \cdot f_c \cdot b_{eff} \cdot a \times d_1) + (A_s \cdot f_y \times d_2)$$

$$= (0,85 \cdot 40 \cdot 2200 \cdot 151,8 \times 683,13) + (63066,1 \cdot 250 \times 719)$$

$$= 10928974928 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n$$

$$= 0,9 \cdot 10928974928 \text{ Nmm}$$

$$= 9836077436 \text{ Nmm}$$

$$= 9836,07 \text{ kNm}$$

Kontrol :

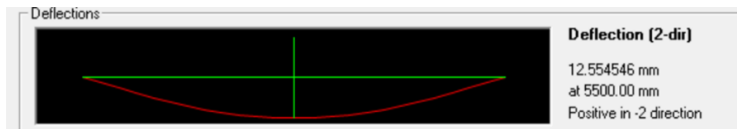
$$\phi M_n = 9836,07 \text{ kNm} > M_u = 4141,49 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.4.5 Kontrol Lendutan

Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{\lambda}{800} \\ \delta &= \frac{1100}{800} \\ &= 0.01375 \text{ m} \\ &= 13,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 seperti yang terlihat pada **Gambar 4.22**, dapat diketahui lendutan yang terjadi oleh beban hidup tanpa faktor



Gambar 4. 27 Hasil analisis SAP2000 untuk lendutan yang terjadi

Check lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$12,5 \text{ mm} \leq 13,75 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.3.2.4.6 Perhitungan Kebutuhan *Shear Connector*

Shear Connector menggunakan tipe D-22 dengan A_s yaitu 388.122 mm^2 dengan mutu F_u yaitu 550 MPa . Untuk perhitungan kekuatan *Shear Connector* dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 29725,41 \text{ MPa} \\ A_s &= 388,122 \\ Q_n &= 0.5 \times A_s \times \sqrt{f'c \times E_c} \\ &= 211541,53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$R_g = 1 \quad (\text{SNI 1729:2015})$$

$$R_p = 0.75 \quad (\text{SNI 1729:2015})$$

$$Q_n' = A_s \times F_u \times R_g \times R_p \\ = 160050 \text{ N}$$

$$Q_n > Q_n' \quad (\text{Diambil } Q_n')$$

Perhitungan kebutuhan *Shear Connector*

$$V_u = A_s \cdot f_y \\ = 15766517.5 \text{ kg}$$

$$Q_n = 160050 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_u}{Q_n} = \frac{15766517.5}{160050} = 99 \text{ buah} \quad (\text{Setengah Bentang})$$

$$n = 99 \text{ buah} \times 2 = 198 \text{ buah} \quad (\text{Untuk Sepanjang Bentang})$$

$$\text{Jarak antar } \textit{Shear Connector} = \frac{11000}{198} = 55,56 \text{ mm}$$

4.3.2.5 Sambungan Gelagar

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$V_u = 1505,99 \text{ kN}$$

Pelat sambung siku 300.300.25 :

$$t_b = 25 \text{ mm} \qquad f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$L = 510 \text{ mm} \qquad f_u = 400 \text{ MPa}$$

Desain baut :

$$D_{\text{baut}} = 36 \text{ mm} \qquad D_{\text{prlmhn}} = 36 + 1,5 = 37,5$$

$$T_b = 49000 \text{ kg} \qquad A_{\text{baut}} = 1017,36 \text{ mm}^2$$

$$f_{u_{\text{baut}}} = 500 \text{ Mpa} \qquad i_x = 93 \text{ mm}$$

4.3.2.5.1 Sambungan pada Gelagar Melintang

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \quad (\text{Lubang standar})$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \quad (\text{Giling bersih})$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser } (V_{sf}) &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 49000 \\ &= 387.59 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\
 &= \frac{1505,99}{387,59} \\
 &= 3,8 = 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
 &= 2,5 \times 36 \leq S \leq 15 \times 25 \\
 &= 90 \text{ mm} \leq S \leq 375 \text{ mm} \\
 &= 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 36 \leq S_1 \leq (4 \times 25 + 100) \\
 &= 54 \text{ mm} \leq S_1 \leq 2000 \text{ mm} \\
 &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 36 \leq S_2 \leq 12 \times 25 \\
 &= 45 \text{ mm} \leq S_2 \leq 300 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.2.5.2 Sambungan pada Box Girder

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 1$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1,13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\
 &= 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\
 &= 193,795 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{Vu}{V_{sf}} \\
 &= \frac{1505,99}{193,795} = 7,7 = 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
 &= 2,5 \times 36 \leq S \leq 15 \times 25 \\
 &= 90 \text{ mm} \leq S \leq 375 \text{ mm} \\
 &= 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 36 \leq S_1 \leq (4 \times 25 + 100) \\
 &= 54 \text{ mm} \leq S_1 \leq 2000 \text{ mm} \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 36 \leq S_2 \leq 12 \times 25 \\
 &= 45 \text{ mm} \leq S_2 \leq 300 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.3.2.5.3 Kontrol Pelat Penyambung

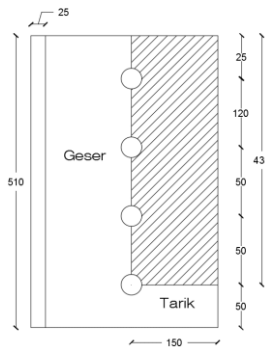
- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (S \times 3 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= (120 \times 3 + 75) \times 25 \times 2 \\
 &= 21750 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= 150 \times 25 \times 2 \\
 &= 7500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= ((S \times 3 + S_1) - 3.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= ((120 \times 3 + 75) - 3.5 \times (36 + 1.5)) \times 25 \times 2 \\
 &= 15187,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= ((S_2 - 0.5 \times (d_b + 1.5)) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= ((150 - 0.5 \times (36 + 1.5)) \times 25 \times 2 \\
 &= 6562,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 28 Pelat penyambung

Kuat geser rupture nominal:

$$\begin{aligned} N_n &= 0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} \\ &= 0.6 \times 15187,5 \times 500 \\ &= 4556250 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat tarik rupture nominal :

$$\begin{aligned} N_n &= A_{nt} \times f_{ub} \\ &= 6562,5 \times 500 \\ &= 3281250 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Karena N_n geser $>$ N_n tarik maka :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times A_{nv} \times f_{ub} + A_{gt} \times f_y) \\ \phi R_n &= 0.75 \times (0.6 \times 15187,5 \times 500 + 7500 \times 25) \\ \phi R_n &= 5048437,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi R_n = 5048,43 \text{ kN} > V_u = 1505,99 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{Jumlah Pelat Siku}$$

$$A_g = 6250 \times 2 = 12500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0.9 \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 12500 \times 290 \\ &= 3262500 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 3262,5 \text{ kN} > V_u = 1505,99 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

- Kontrol Putus

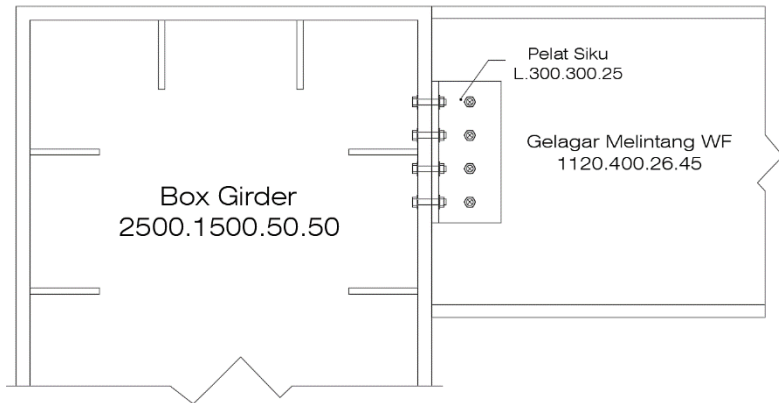
$$A_e = A_n \times U$$

$$\begin{aligned} &= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L)) \\ &= ((6250 - 1 \times (36 + 1.5) \times 25) \times 2) + (1 - (93 / (120 \times 3))) \\ &= 4375 \times 0,74 \\ &= 3244,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

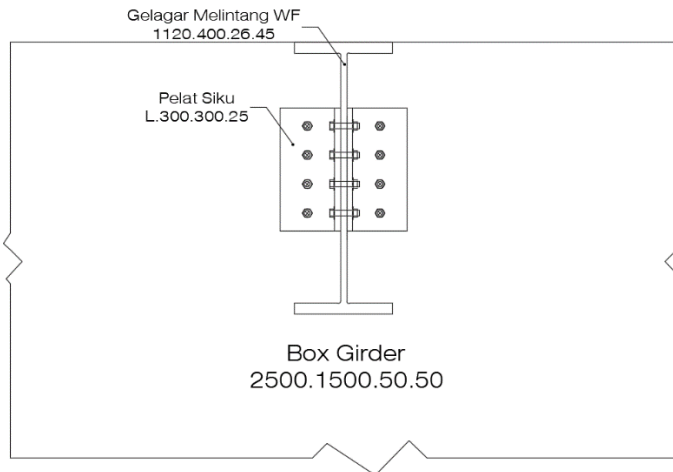
$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0.75 \times A_e \times f_u \\ &= 0.75 \times 3244,79 \times 40 = 1622395.833 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

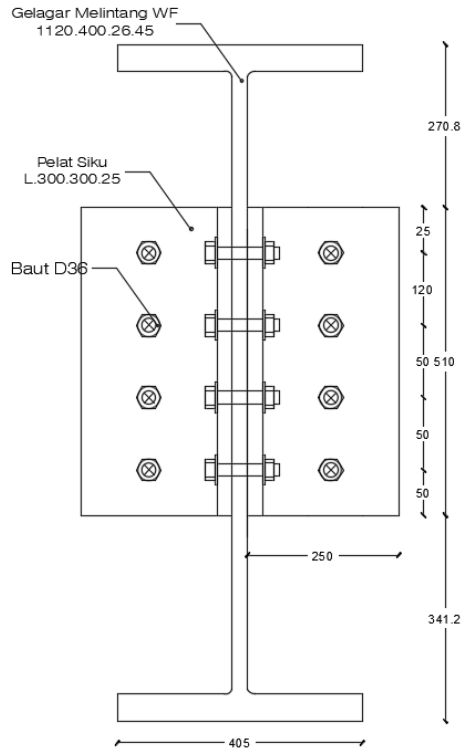
$$\phi N_n = 1622,39 \text{ kN} > V_u = 1505,99 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$



Gambar 4. 29 Detail sambungan gelagar melintang ke box girder



Gambar 4. 30 Detail sambungan potongan tampak samping



Gambar 4. 31 Detail sambungan gelagar memanjang.

4.3.3 Gelagar Kantilever

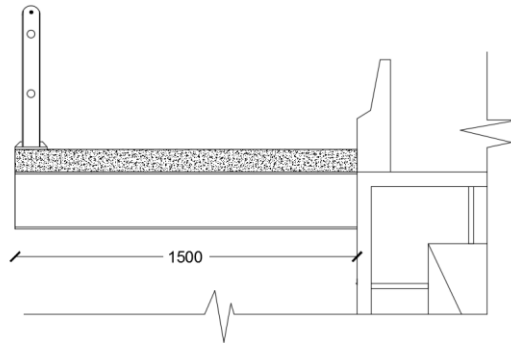
4.3.3.1 Perencanaan Gelagar Kantilever

Untuk perencanaan balok memanjang ini menggunakan baja dengan mutu BJ41 seperti pada **Gambar 4.32**, dengan ketentuan sebagai berikut :

Tegangan leleh (f_y) = 250 MPa

Tegangan ultimate (f_u) = 40 kg/mm²

Modulus Elastisitas (E) = 200000 MPa



Gambar 4. 32 Gelagar memanjang jembatan

Perencanaan gelagar kantilever menggunakan profil WF 440.150.6,5.14 dengan data detail profil sebagai berikut :

$A = 120.1 \text{ cm}^2$	$i_x = 18,9 \text{ cm}$
$d = 440 \text{ mm}$	$i_y = 7,18 \text{ cm}$
$b_f = 150 \text{ mm}$	$I_x = 56100 \text{ mm}^4$
$t_w = 6,5 \text{ mm}$	$I_y = 8110 \text{ cm}^4$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$Z_x = 2728 \text{ cm}^3$
$r = 13 \text{ mm}$	$Z_y = 822 \text{ cm}^3$
$w = 36,72 \text{ kg/m}$	$h = 396 \text{ mm}$

4.3.3.2 Pembebanan Gelagar Kantilever

- **Beban Mati**

Pelat beton	$= 200 \times 2400 \times 5 \times 1,3$ $= 3900 \text{ kg/m}$
Tiang sandaran	$= 172.8 \times (0.5+2.5+4.5) / 5$ $= 518.4 \text{ kg}$
Pipa sandaran	$= 5,44 \times 5 \times 2$ $= 54.4 \text{ kg}$
Bekisting	$= 50 \times 5 \times 2$ $= 500 \text{ kg/m}$
Berat Sendiri	$= 36,72 \times 1.1$ $= 40,392 \text{ kg/m}$

$$Q_D = 3900 + 500 + 40,392$$

$$= 4440.392 \text{ kg/m}$$

$$Q_{\text{Tiang sandaran}} = 518.4 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{Pipa sandaran}} = 54.4 \text{ kg}$$

- **Beban hidup**

$$Q_L = q_{\text{pejalan kaki}} \times L \times \gamma_{MS}^U$$

$$= 5 \times 10^{-4} \times 5 \times 1,5$$

$$= 5000 \text{ kg/m}$$

4.3.3.3 Perhitungan Momen

Perhitungan momen-momen akibat beban mati dan beban hidup dapat dilihat sebagai berikut :

$$V_D = (Q_D \times 1,5) + Q_{\text{Tiang sandaran}} + Q_{\text{Pipa sandaran}}$$

$$= 7233,388 \text{ kg}$$

$$V_L = Q_L \times 1,5$$

$$= 7500 \text{ kg}$$

- **Beban Mati**

$$M_D = (Q_D \cdot 1,5 \cdot 0,75) + (Q_{\text{Tiang sandaran}} \cdot 1,5) + (Q_{\text{Pipa sandaran}} \cdot 1,5)$$

$$= 5854.641 \text{ kgm}$$

- **Beban Hidup**

$$M_L = (Q_L \times 1.5 \times 0.75) + (V_L \times 1.5)$$

$$= 11479.641 \text{ kgm}$$

Beban total

$$M_U = 5854.641 + 5625$$

$$= 11479.641 \text{ kgm}$$

4.3.3.4 Kontrol Profil Gelagar Kantilever

4.3.3.4.1 Kontrol Local Buckling

Kontrol penampang:

$$\text{Sayap} : \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{150}{2 \times 9} \leq \frac{170}{\sqrt{250}}$$

$$8,33 < 10.75 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned}\text{Badan} : \frac{h}{tw} &\leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ \frac{396}{6,5} &\leq \frac{1680}{\sqrt{250}} \qquad 60,92 < 106.25 \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot f_y \text{ (SNI 1729-2015, F2-1)} \\ &= 2728 \times 2500 \\ &= 6820000 \text{ kgcm} \\ &= 68200 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0.9 \times M_n \text{ (SNI 1729-2015, F1, 1)} \\ &= 0.9 \times 68200 \\ &= 61380 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 613,8 \text{ kNm} > M_u = 114,791 \text{ kNm} \quad (\mathbf{OK})$$

4.3.1.4.2 Kontrol Lateral Buckling

$$L_B = 150 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}L_P &= 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (SNI 1729-2015, F2-5)} \\ &= 357.42 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_R &= i_y \times \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) \times \sqrt{1 + \sqrt{x_2 f_L^2}} \\ &= 1118,741 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \text{ (fabrikasi)}$$

$$f_L = f_y - f_r = 2500 - 700 = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}J &= \sum \frac{1}{3} b t^3; \text{ pelat badan } b = d - 2t_f = 440 - 2(9) = 422 \text{ mm} \\ &= \left(\frac{1}{3} \times 42,2 \times 0,9^3 \right) + 2 \left(\frac{1}{3} \times 15 \times 0,65^3 \right) \\ &= 11,62 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_w &= x \frac{(h')^2}{4}; h' = d - tf = 440 - 9 = 43,1 \text{ mm} \\
 &= 8110 x \frac{43,1^2}{4} \\
 &= 3766304,275 \text{ cm}^6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{Sx} x \sqrt{\frac{EGJA}{2}}; \text{modulus geser (G)} = 800000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{\pi}{2550} x \sqrt{\frac{2 x 10^6 x 8 x 10^5 x 11,62 x 157,4}{2}} \\
 &= 47117.71285 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 x \left(\frac{Sx}{GJ} \right)^2 x \frac{Iw}{Iy} \\
 &= 4 x \left(\frac{2550}{8 x 10^5 x 11,62} \right)^2 x \frac{3766304,275}{8110} \\
 &= 0.000139594 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_R &= iy x \left(\frac{x_1}{f_y - f_r} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{X_2 \cdot f_L}} \\
 &= 7,18 x \left(\frac{47117.71}{1800} \right) x \sqrt{1 + \sqrt{0.000139594 x 1800^2}} \\
 &= 887.351 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$L_P = 357.42 \text{ cm} < L_B = 150 \text{ cm} < L_R = 887.35 \text{ cm}$$

Karena $L_B < L_P < L_R$ maka termasuk bentang pendek. Oleh karena itu momen kapasitas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$M_n = M_p$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 2728 x 250 \\
 &= 6820000 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 x 6820000 \\
 &= 6138000 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_n = 613.80 \text{ kNm} > M_u = 114.80 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.3.1.4.3 Kontrol Rencana Geser

Kontrol penampang :

$$\text{Badan : } \frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{Kn.E}{Fy}} ; Kn = 5$$

$$\frac{396}{6,5} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5.200000}{250}}$$

$$60,92 \leq 69,57 \quad (\mathbf{OK})$$

Berdasarkan LRFD

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times f_y \times A_w \\ &= 0.6 \times 25 \times (314 \times 9) \\ &= 423900 \text{ kg} \end{aligned}$$

Akibat pejalan kaki

$$\begin{aligned} V_u &= Q_{\text{pejalan kaki}} \times 5 \\ &= 29250 + (1/2.1401,73.5) \\ &= 25000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 423900 = 34749 \text{ kg}$$

Kontrol,

$$\phi V_n = 347,49 \text{ kN} > V_u = 250 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

4.3.1.4.4 Kontrol Lendutan

Syarat lendutan yaitu : $\delta' \leq \delta$, dimana δ adalah lendutan ijin, sedangkan δ' adalah lendutan yang terjadi (berdasarkan beban hidup tanpa faktor)

$$\delta = \frac{\lambda}{800}$$

$$\delta = \frac{1500}{800}$$

$$= 0.00188 \text{ m}$$

$$= 1,88 \text{ mm}$$

Check lendutan ijin :

$$\delta' \leq \delta$$

$$0,74 \text{ mm} \leq 1,88 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.3.3.5 Sambungan Gelagar Kantilever

Desain perencanaan sambungan baut dapat dilihat sebagai berikut:

$$V_u = 147,33 \text{ kN}$$

$$M_u = 114,79 \text{ kNm}$$

Pelat sambung siku 1000.100.5 :

$$t_p = 6,5 \text{ mm}$$

$$L = 200 \text{ mm}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

Desain baut :

$$D_{\text{baut}} = 16 \text{ mm}$$

$$T_b = 9500 \text{ kg}$$

$$f_{u_{\text{baut}}} = 500 \text{ Mpa}$$

$$D_{\text{prlmhn}} = 16 + 1,5 = 17,5$$

$$A_{\text{baut}} = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$i_x = 30,78 \text{ mm}$$

4.3.3.5.1 Sambungan pada Gelagar Kantilever

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 2$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1.13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\ &= 1.13 \times 0.35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\ &= 75,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{V_u}{V_{sf}} \\ &= \frac{147,33}{75,14} \\ &= 1,96 \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

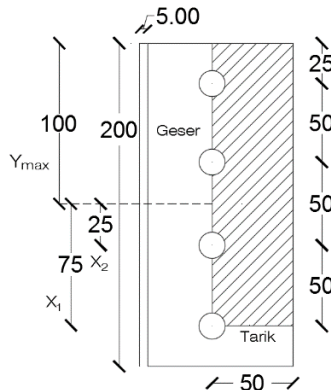
$$\begin{aligned} \text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\ &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 6,5 \\ &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 97,5 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 6,5 + 100) \\
 &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 126 \text{ mm} \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 6,5 \\
 &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 78 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Baut Gesek yang Menerima Momen

$$T_{maks} = T_u = \frac{M_u \cdot Y_{maks}}{\Sigma y^2}$$



Gambar 4. 33 Pelat penyambung

Dimana,

$$M_u = 114,79 \text{ kNm}$$

$$Y_{maks} = 100$$

$$\Sigma y^2 = 2 \times (25^2 + 75^2) = 12500$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{M_u \cdot Y_{maks}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{114,79 \times 100}{12500} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sisia}} &= \phi \cdot V_{sf} \cdot \left(1 - \frac{T_u}{1,13 \cdot T_b}\right) \\
 &= 1 \cdot 75,14 \cdot \left(1 - \frac{0,91}{1,13 \cdot 5}\right) \\
 &= 62,93 \text{ kN} \\
 V_u' &= V_u / n \\
 &= 36,83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$V_{\text{sisia}} = 62,93 \text{ kN} > V_u' = 36,83 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

4.3.3.5.2 Sambungan pada Box Girder

- Kuat Rencana Baut Tipe Gesek (Friction Type)

$$K_h = 1 \text{ (Lubang standar)}$$

$$m = 1$$

$$\mu = 0,35 \text{ (Giling bersih)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Geser (V}_{sf}\text{)} &= 1,13 \times \mu \times m \times k_h \times T_b \\
 &= 1,13 \times 0,35 \times 2 \times 1 \times 9500 \\
 &= 37,57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baut (n)} &= \frac{V_u}{V_{sf}} \\
 &= \frac{147,33}{37,57} \\
 &= 3,9 \\
 &= 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak Pemasangan Baut

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak S} &= 2,5d_b \leq S \leq 15t_p \\
 &= 2,5 \times 16 \leq S \leq 15 \times 6,5 \\
 &= 40 \text{ mm} \leq S \leq 87,5 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak S}_1 &= 1,5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100) \\
 &= 1,5 \times 16 \leq S_1 \leq (4 \times 6,5 + 100) \\
 &= 24 \text{ mm} \leq S_1 \leq 100 \text{ mm} \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk jarak } S_2 &= 1,25d_b \leq S_2 \leq 12t_p \\
 &= 1,25 \times 16 \leq S_2 \leq 12 \times 6,5 \\
 &= 20 \text{ mm} \leq S_2 \leq 78 \text{ mm} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Baut Gesek yang Menerima Momen

$$T_{maks} = T_u = \frac{Mu.Y_{maks}}{\Sigma y^2}$$

Dimana,

$$Mu = 114,79 \text{ kNm}$$

$$Y_{maks} = 100$$

$$\Sigma y^2 = 2 \times (25^2 + 75^2) = 12500$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{Mu.Y_{maks}}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{114,79 \times 100}{12500} \\
 &= 0,91
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sisia}} &= \emptyset \cdot V_{sf} \cdot \left(1 - \frac{T_u}{1,13.T_b}\right) \\
 &= 1 \cdot 37,57 \cdot \left(1 - \frac{0,91}{1,13 \cdot 5}\right) \\
 &= 31,46 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u' &= V_u / n \\
 &= 18,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$V_{\text{sisia}} = 31,46 \text{ kN} > V_u' = 18,41 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

4.3.3.5.3 Kontrol Pelat Penyambung

- Kontrol *Rupture (Block Shear)*

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= (S \times 4 + S_1) \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= (50 \times 3 + 25) \times 6,5 \times 2 \\
 &= 2275 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{gt} &= S_2 \times t_p \times \text{Jumlah Pelat Siku} \\
 &= 50 \times 6,5 \times 2 \\
 &= 650 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kontrol Leleh

$$A_g = A_g \times \text{Jumlah Pelat Siku}$$

$$A_g = 650 \times 2 = 1300 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = 0.9 \times A_g \times f_y$$

$$= 0.9 \times 1300 \times 290$$

$$= 339300 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 339,3 \text{ kN} > V_u = 147,3 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

- Kontrol Putus

$$A_e = A_n \times U$$

$$= ((A_g - 1 \times (d_b + 1.5) \times t_p) \times 2) + (1 - (x/L))$$

$$= ((500 - 1 \times (16 + 1.5) \times 6,5) \times 2) + (1 - (30,78 / (50 \times 3)))$$

$$= 422,5 \times 0,7948$$

$$= 335,803 \text{ mm}^2$$

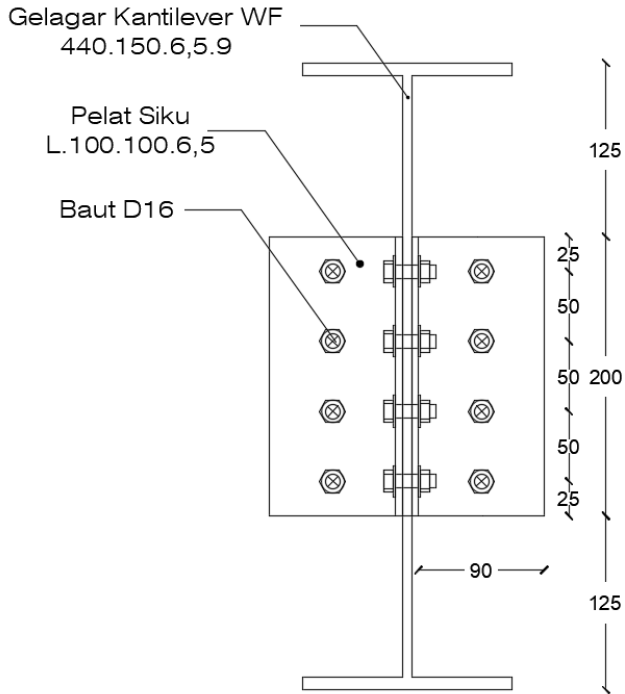
$$\phi N_n = 0.75 \times A_e \times f_u$$

$$= 0.75 \times 335,803 \times 500$$

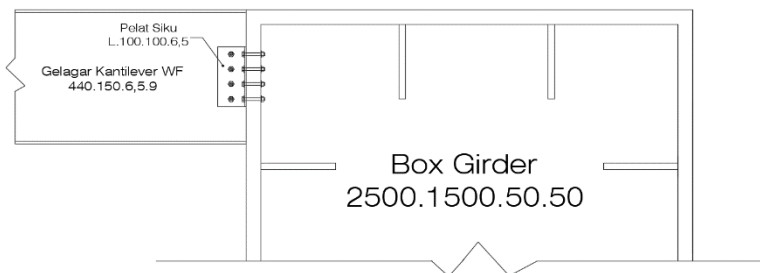
$$= 167901,5 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi N_n = 167,9 \text{ kN} > V_u = 147,3 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$



Gambar 4.35 Detail sambungan gelagar kantilever



Gambar 4.36 Detail sambungan potongan tampak samping

4.4 Permodelan dan Analisa Struktur

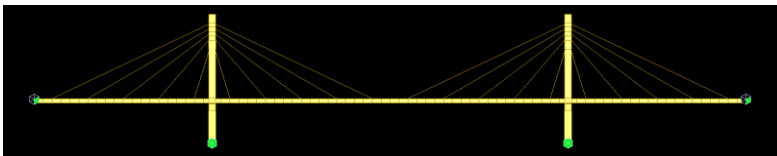
Pada bab ini akan dibahas gaya-gaya yang terjadi pada struktur gelagar utama (main girder) berupa twin box girder, kabel, dan pylon. Dalam analisa struktur cable stayed ini digunakan program bantu MIDAS CIVIL V2011. Beban yang bekerja berupa beban statik (berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin), dinamik (beban gempa dengan menggunakan analisa *response spectrum*), dan *staging analysis* (beban yang bekerja saat pelaksanaan atau pendirian jembatan).

4.4.1 Permodelan Struktur

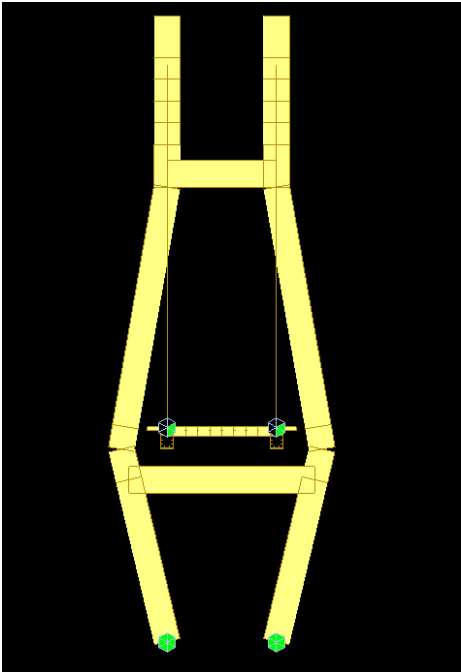
Permodelan struktur jembatan menggunakan permodelan dengan tiga dimensi, untuk lebih jelasnya seperti berikut :



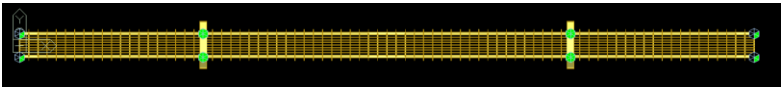
Gambar 4. 37 Tampak perspektif jembatan



Gambar 4. 38 Tampak memanjang jembatan



Gambar 4. 39 Tampak melintang jembatan



Gambar 4. 40 Tampak atas jembatan



Gambar 4. 41 Tampak melintang dek jembatan

4.4.2 Analisa Statis

4.4.2.1 Analisa Pembebanan Statis

Beberapa beban yang termasuk beban statik antara lain beban beban tetap, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban sendiri struktur akan hitung secara otomatis oleh program bantu MIDAS

1. Beban Mati Struktur (MS)

- Gelagar memajang
Berat sendiri = 94,31 kg/m
- Gelagar melintang
Berat sendiri = 495,06 kg/m
- Gelagar kantilever
Berat sendiri = 36,72 kg/m

2. Beban Mati Perkerasan dan Utilitas (MA)

- Gelagar memanjang
Pelat beton = 660 kg/m
Aspal = 151,25 kg/m
Bekisting = 68,75 kg/m
- Gelagar kantilever
Berat beton = 3000 kg/m
Pipa sandaran = 27,2 kg
Tiang sandaran = 259,2 kg
Bekisting = 250 kg/m

3. Beban Jalur (TD)

- Gelagar memanjang
BTR = 12,375 kg/m
BGT = 87,587 kg/m
- Gelagar melintang
BGT = 6370 kg/m

4. Gaya Akibat Rem (TB)

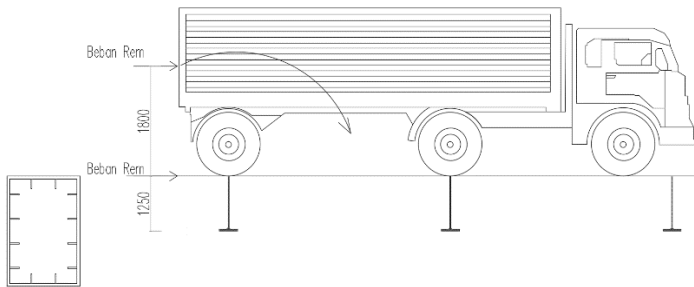
Untuk gaya rem, sesuai dengan SNI 1726-2016 pasal 8.7 gaya yang diambil terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain
TB = 25 % . (T . 2roda) . tinggi
= 25 % . (112,5kN . 2) . 1,8m
= 101,25 kNm

- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

$$\begin{aligned}
 TB &= 5\% \cdot (\text{beban truk} + \text{BTR}) \cdot \text{tinggi} \\
 &= 5\% \cdot (500 \text{ kN} + 12,375 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}) \cdot 1,8 \text{ m} \\
 &= 28.093 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas akan diambil nilai terbesar dari gaya rem sebesar 101,25 kNm



Gambar 4. 42 Ilustrasi beban rem berupa gaya horizontal dan momen torsi

5. Beban Pejalan Kaki (TP)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.9 semua komponen trotoar lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

$$\begin{aligned}
 W_{\text{pejalan kaki}} &= 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} \\
 &= 25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

6. Beban Angin (E_w)

- Beban angin struktural (E_{ws})

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1, tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air maka kecepatan angin rencana, V_{DZ} , sebagai berikut

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Tabel 4. 6 Nilai V_0 dan Z_0 untuk variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

$$\begin{aligned}
 V_{DZ} &= 2,5 \cdot 17,6 \left(\frac{90}{90} \right) \ln \left(\frac{22000}{1000} \right) \\
 &= 136.005 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui kecepatan angin yang bekerja, dapat ditentukan beban angin pada struktur dimana tekanan angin rencana dalam MPa dengan menggunakan persamaan

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Tabel 7.2 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

$$\begin{aligned}
 P_D &= 0,0024 \left(\frac{136,005}{90} \right)^2 \\
 &= 0.00295 \text{ MPa} \\
 &= 2.95 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban pada struktur akan diterima pada gelegar utama yang berupa *box girder* sehingga dikalikan dengan tinggi penampang *box girder*.

$$\begin{aligned}
 P_D &= 7,14 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \\
 &= 7.37 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Kontrol,

$$\begin{aligned}
 P_D &> P_{Dmin} \\
 7.37 \text{ kN/m} &> 2.95 \text{ kN/m (SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1)}
 \end{aligned}$$

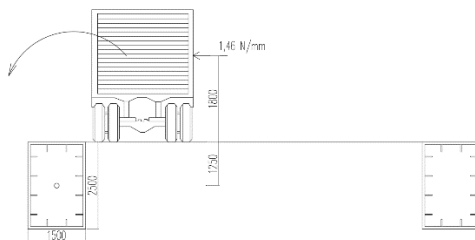
- Beban angin kendaraan (E_{W1})

Beban angin juga akan dibebankan pada kendaraan yang melintas (E_{W1}) dimana telah diatur di SNI 1725-2016 pasal

9.6.1.2 dengan asumsi sebagai tekanan yang menerus sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus dan bekerja diatas 1800 mm diatas permukaan jalan. Maka beban angin pada kendaraan yang akan diinput.

$$\begin{aligned}
 EW_1 &= 1,46 \text{ N/mm} \\
 &= 1,46 \text{ kN/m} \cdot (\text{tinggi} + \frac{1}{2} t_{\text{box girder}}) \cdot \text{panjang segmen} \\
 &= 1,46 \text{ kN/m} \cdot (1,8\text{m} + 1.25 \text{ m}) \cdot 5 \text{ m} \\
 &= 22.265 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Untuk beban angin pada kendaraan akan diinput sebagai momen torsi.



Gambar 4. 43 Ilustrasi beban angin kendaraan menjadi momen torsi

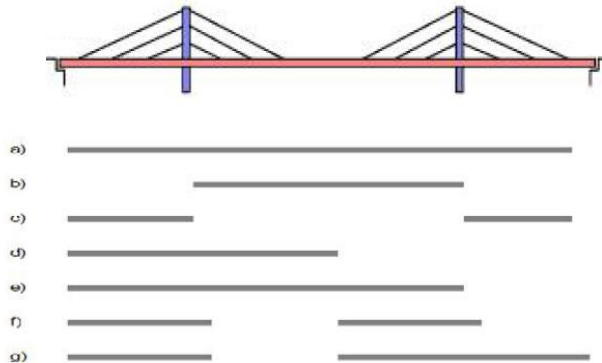
4.4.2.2 Konfigurasi Pembebanan

Tabel 4. 7 Tabel kombinasi beban dan faktor beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _s	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{eq}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	0
Daya Javan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Daya Javan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Javan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Daya Javan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Falk (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Untuk *Load Factor* masing-masing beban mengacu pada SNI 1725-2016, sedangkan untuk konfigurasi pembebanan LL dan EW_L mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum

Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada **Gambar 4.44**



Gambar 4. 44 Konfigurasi beban hidup

Tabel 4. 8 Kombinasi pembebanan statik

Kuat I	Tipe a	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe b	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe c	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe d	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe e	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe f	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
	Tipe g	$1,1MS + 2MA + 2TD + 1,8TB + 1,8TP$			
Kuat III		$1,1MS + 2MA + 1,4EWs$			
Daya Layan I	Tipe a	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1TD + 1TB + 1TP + 0,3EWs + 1EWl$			
Daya Layan II	Tipe a	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe b	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe c	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe d	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe e	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe f	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
	Tipe g	$1MS + 1MA + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP$			
Daya Layan IV		$1MS + 1MA + 0,7EWs$			

4.4.2.3 Hasil Analisa Statis

Tabel 4. 9 Hasil analisa struktur static box girder

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Type a	18762.23	74.94	3309.54	2943.44	54829.99	199.17
	Type b	18587.67	74.69	3344.16	1711.08	55716.89	201.31
	Type c	18305.16	71.67	3217.1	3521.43	49421.16	198.11
	Type d	18607.49	85.89	3229.81	2901.37	50446.58	275.62
	Type e	18563.64	75.12	3331.51	2816.49	55292.78	200.76
	Type f	18458.84	86.27	3223.28	3495.44	50440.3	281.22
	Type g	18693.41	85.39	3218.49	3309.6	49846.88	278.53
	-	25177.43	5674.6	2752.12	1680.24	43511.14	58016.09
Kuat III	Type a	16190.57	2672.15	2047.24	1120.14	33966.72	27251.26
	Type b	15325.66	2064.78	2066.13	602.68	34388.93	21294.67
	Type c	14239.74	1841.47	2001.56	1515.25	31139.33	18441.54
	Type d	14124.01	2239.6	2004.52	1155.11	31713.98	22662.02
	Type e	15397.65	2561.07	2057.76	1085.07	34180.87	26077.5
	Type f	14768.38	2052.44	2004.36	1451.86	31717.27	20688.16
	Type g	15559.12	2162.48	2004.56	1332.31	31435.73	21858.11
	-	12145.22	48.41	2113.54	2075	35457.55	128.07
Daya Layan I	Type a	12027.29	48.22	2137.35	1251.79	36031.73	130.58
	Type b	11831.19	46.27	2052.56	2456.42	31927.11	127.88
	Type c	12025.61	55.55	2061.06	2049.36	32608.17	178.99
	Type d	11997.75	48.5	2129.22	1992.2	35754.4	129.21
	Type e	11932.11	55.77	2056.85	2437.04	32592.03	181.46
	Type f	12099.16	55.21	2053.71	2316.61	32205.62	179.73
	Type g	12099.16	55.21	2053.71	2316.61	32205.62	179.73
	-	14970.25	2842.12	1820.55	884.96	28425.05	29021.01
Daya Layan II	Type a	12145.22	48.41	2113.54	2075	35457.55	128.07
	Type b	12027.29	48.22	2137.35	1251.79	36031.73	130.58
	Type c	11831.19	46.27	2052.56	2456.42	31927.11	127.88
	Type d	12025.61	55.55	2061.06	2049.36	32608.17	178.99
	Type e	11997.75	48.5	2129.22	1992.2	35754.4	129.21
	Type f	11932.11	55.77	2056.85	2437.04	32592.03	181.46
	Type g	12099.16	55.21	2053.71	2316.61	32205.62	179.73
	-	14970.25	2842.12	1820.55	884.96	28425.05	29021.01
Daya Layan IV	Type a	12145.22	48.41	2113.54	2075	35457.55	128.07
	Type b	12027.29	48.22	2137.35	1251.79	36031.73	130.58
	Type c	11831.19	46.27	2052.56	2456.42	31927.11	127.88
	Type d	12025.61	55.55	2061.06	2049.36	32608.17	178.99
	Type e	11997.75	48.5	2129.22	1992.2	35754.4	129.21
	Type f	11932.11	55.77	2056.85	2437.04	32592.03	181.46
	Type g	12099.16	55.21	2053.71	2316.61	32205.62	179.73
	-	14970.25	2842.12	1820.55	884.96	28425.05	29021.01

Tabel 4. 10 Hasil analisa struktur static *pylon*

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Type a	63334.69	18515.74	1481.64	18752.04	89384.79	38078.41
	Type b	62899.63	18372.95	1650.79	20022.55	95741.66	37707.82
	Type c	62688.6	18307.85	1382.14	17440.56	83567.56	37507.2
	Type d	63425.3	18544.63	1509.87	18843.8	90565.48	38159.8
	Type e	63321.89	18504.22	1644.79	19898.61	95050.87	38104.24
	Type f	62946.89	18395.82	1652.58	19794.89	95421.28	37711.13
	Type g	63443.95	18559.79	1484.37	18598.83	89550.08	38130.32
	-	44736.74	13720.5	1821.56	18633.6	81273.73	27937.36
Kuat III	Type a	36007.59	10797.43	1195.28	13036.9	58196.18	22157.96
	Type b	35777.63	10723.1	1247.92	13508.87	61109.31	21956.36
	Type c	35665.96	10688.89	984.15	11698.91	54071.05	21848.97
	Type d	35983.98	10791.15	1134.44	12712.93	58165.14	22130.49
	Type e	35924.78	10768.72	1262.16	13532.14	60907.39	22095.1
	Type f	35796.81	10733.38	1210.29	13205.44	60629.53	21952.69
	Type g	36057.88	10818.27	1140.86	12685.28	57815.48	22179.02
	-	36809.36	11079.84	959.85	12121.32	57716.36	22744.09
Daya Layan I	Type a	36519.74	10985.5	1073.08	12960.85	61875.89	22493.82
	Type b	36377.13	10941.92	893.69	11265.54	53935.09	22356.17
	Type c	36865.07	11098.06	977.02	12174.77	58474.08	22791.89
	Type d	36800.13	11072.3	1069.14	12880	61426.04	22758.87
	Type e	36547.21	10999.6	1072.03	12801.53	61648.92	22491.68
	Type f	36877.53	11107.82	959.42	12010.46	57805.56	22773.99
	Type g	36877.53	11107.82	959.42	12010.46	57805.56	22773.99
	-	33236.75	9830.73	1105.21	11775.97	52532.33	20085.75
Daya Layan II	Type a	36809.36	11079.84	959.85	12121.32	57716.36	22744.09
	Type b	36519.74	10985.5	1073.08	12960.85	61875.89	22493.82
	Type c	36377.13	10941.92	893.69	11265.54	53935.09	22356.17
	Type d	36865.07	11098.06	977.02	12174.77	58474.08	22791.89
	Type e	36800.13	11072.3	1069.14	12880	61426.04	22758.87
	Type f	36547.21	10999.6	1072.03	12801.53	61648.92	22491.68
	Type g	36877.53	11107.82	959.42	12010.46	57805.56	22773.99
	-	33236.75	9830.73	1105.21	11775.97	52532.33	20085.75
Daya Layan IV	Type a	36809.36	11079.84	959.85	12121.32	57716.36	22744.09
	Type b	36519.74	10985.5	1073.08	12960.85	61875.89	22493.82
	Type c	36377.13	10941.92	893.69	11265.54	53935.09	22356.17
	Type d	36865.07	11098.06	977.02	12174.77	58474.08	22791.89
	Type e	36800.13	11072.3	1069.14	12880	61426.04	22758.87
	Type f	36547.21	10999.6	1072.03	12801.53	61648.92	22491.68
	Type g	36877.53	11107.82	959.42	12010.46	57805.56	22773.99
	-	33236.75	9830.73	1105.21	11775.97	52532.33	20085.75

Tabel 4. 11 Hasil analisa struktur static *upper cross beam*

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Kuat I	Tipe a	6676.15	59.61	1524.73	110.06	3108.65	2362.89
	Tipe b	6629.19	92.81	1456.21	410.88	2693.86	2841.16
	Tipe c	6610.84	140.62	1454.75	114.93	2701.54	2621.01
	Tipe d	6685.03	42.61	1509.79	205.27	3002.29	2380.29
	Tipe e	6666.96	98.54	1523.08	46.94	3092.72	2860.17
	Tipe f	6642.14	102.06	1468.65	407.03	2780.9	2808.88
	Tipe g	6696.69	103.58	1466.22	201.36	2801.84	2416.63
Kuat III	-	5047.06	559.32	748.77	76.92	749.71	5292.97
Daya Layan I	Tipe a	3929.48	292.79	763.19	61.59	1335.26	3090.07
	Tipe b	3905.88	277.89	727.39	336.27	1172.6	3132.23
	Tipe c	3896.43	137.84	726.61	384.7	1106.61	2039.71
	Tipe d	3928.5	211.61	758.91	46.45	1287	2644.36
	Tipe e	3918.91	297.47	763.9	81.35	1322.12	3246.26
	Tipe f	3912.2	230.8	733.54	227.63	1146.28	2882.91
	Tipe g	3939.54	225.08	730.8	220.88	1263.47	2718.14
Daya Layan II	Tipe a	4036.6	42.17	793.91	41.8	1467.62	1547.75
	Tipe b	4006.1	66.67	746.1	312.28	1177.64	1876.94
	Tipe c	3994.15	92.93	742.31	90.37	1164.8	1703.74
	Tipe d	4042.55	29.93	783.25	112.38	1392.61	1551.65
	Tipe e	4030.8	70.37	792.97	0.38	1458.15	1889.06
	Tipe f	4014.5	65.8	752.69	287.18	1224.78	1842.33
	Tipe g	4049.95	67.03	750.98	138.79	1267.06	1559.5
Daya Layan IV	-	3569.18	280.73	685.36	0.87	1039.37	2932.09

4.4.3 Analisa Dinamis

4.4.3.1 Analisa Pembebanan Dinamis

Untuk pembebanan gempa pada desain jembatan ini digunakan metode *response spectrum* dengan progam bantu MIDAS/Civil. Berdasarkan RSNI 2833-201X, dapat dilihat posisi kota Samarinda dalam peta gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun memiliki data sebagai berikut:

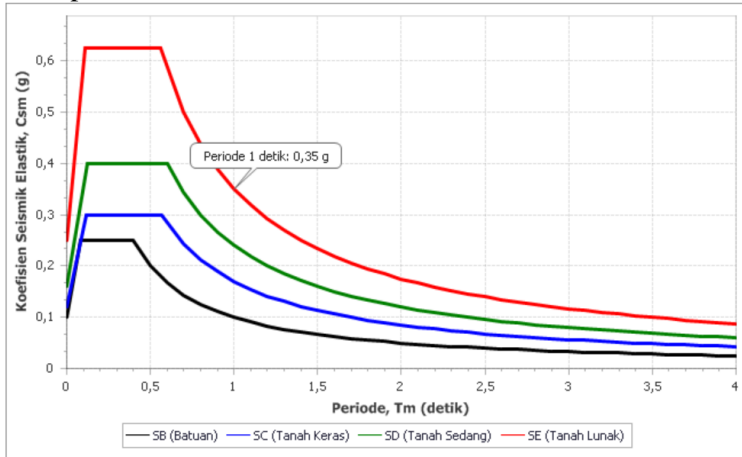
- Percepatan puncak di batuan dasar (PGA) : 0,045
- Percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_s) : 0,091
- Percepatan 1 detik di batuan dasar (S_1) : 0,08

Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa, dapat dilihat dari website <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id> dengan memasukkan lokasi Kota Samarinda dengan jenis batuan tanah lunak. Kemudian data diinput pada program bantu untuk kemudian diolah secara otomatis sehingga didapatkan grafik *response spectrum*

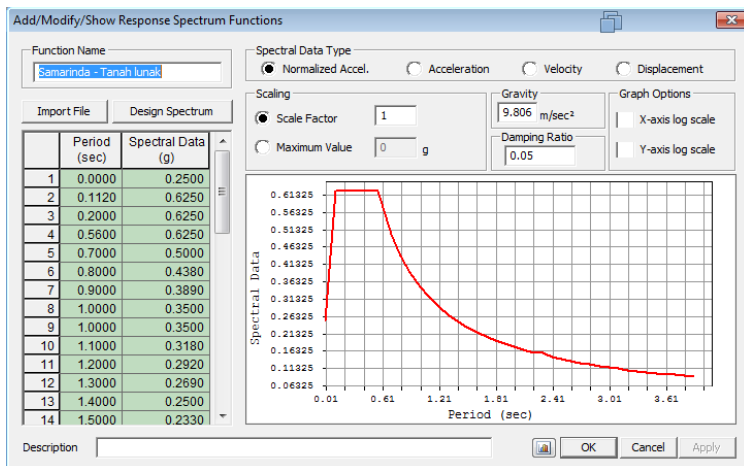
Tabel 4. 12 Nilai koefisien gempa

Variabel	T (sec)	Sa (g)
As	0	0,25
T0	0,112	0,625
SDS	0,2	0,625
Ts	0,56	0,625
Ts+0.1	0,7	0,5
Ts+0.2	0,8	0,438
Ts+0.3	0,9	0,389
Ts+0.4	1,0	0,35
SD1	1	0,35
Ts+0.5	1,1	0,318
Ts+0.6	1,2	0,292
Ts+0.7	1,3	0,269
Ts+0.8	1,4	0,25
Ts+0.9	1,5	0,233
Ts+1	1,6	0,219
Ts+1.1	1,7	0,206
Ts+1.2	1,8	0,194
Ts+1.3	1,9	0,184
Ts+1.4	2	0,175
Ts+1.5	2,1	0,167
Ts+1.6	2,2	0,159
Ts+1.7	2,3	0,152
Ts+1.8	2,4	0,146
Ts+1.9	2,5	0,14
Ts+2	2,6	0,135
Ts+2.1	2,7	0,130
Ts+2.2	2,8	0,125
Ts+2.3	2,9	0,121
Ts+2.4	3	0,117
Ts+2.5	3,1	0,113
Ts+2.6	3,2	0,109
Ts+2.7	3,3	0,106
Ts+2.8	3,4	0,103
Ts+2.9	3,5	0,10
Ts+3	3,6	0,097
Ts+3.1	3,7	0,095
Ts+3.2	3,8	0,092
Ts+3.3	3,9	0,090
Ts+3.4	4	0,088

Berikut adalah grafik nilai *response spectrum* yang didapat dari puskim dan dari hasil analisa program MIDAS CIVIL V2011 dapat dilihat pada **Gambar 4.44** dan **Gambar 4.45**



Gambar 4. 45 Grafik *Response Spectrum* tanah lunak hasil desain www.pusjatan.pu.go.id



Gambar 4. 46 Grafik *Response Spectrum* hasil desain MIDAS

4.4.3.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban untuk response spektrum adalah ekstrem 1 dengan konfigurasi beban untuk analisa dinamis yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa response spektrum.

Untuk konfigurasi pembebanan LL tetap mengacu pada Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2015 tentang “Perencanaan Jembatan Beruji Kabel” yang dapat dilihat pada **Gambar 4.44**

Tabel 4. 13 Kombinasi pembebanan dimanis

Ekstrem I	Type a	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type b	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type c	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type d	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type e	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type f	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type g	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 1EQ_x + 0,3EQ_y$
	Type a'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type b'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type c'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type d'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type e'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type f'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$
	Type g'	$1,1MS + 2MA + 0,5TD + 0,3TB + 0,3TP + 0,3EQ_x + EQ_y$

4.4.3.3 Hasil Analisa Dinamis

Tabel 4. 14 Hasil analisa struktur dinamis box girder

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I Eqx	Type a	13914.82	941.33	3029.72	5329.74	50227.11	8218.92
	Type b	13876.43	939.02	3038	5047.25	50462.19	8224.95
	Type c	13836.46	942.14	3008.04	5467.62	48954.37	8221.36
	Type d	13812.75	941.12	3011.68	5317.25	49131.48	8220.18
	Type e	13870.47	940.73	3035.29	5298.34	50364.76	8222.24
	Type f	13873.69	941.49	3004.72	5464	49200.77	8224.27
	Type g	13913.41	941.54	3001.09	5417.12	49056.68	8222.92
Ekstrem I Ezy	Type a	14538.88	874.84	2874.28	4194.02	46789.99	8085.62
	Type b	14500.48	872.52	2882.56	3911.52	47014.38	8091.66
	Type c	14460.51	875.65	2854.95	4331.9	45482.97	8088.07
	Type d	14436.8	874.62	2856.24	4181.53	45694.33	8086.89
	Type e	14500.48	872.52	2882.56	3911.52	47014.38	8091.66
	Type f	14497.75	874.99	2854.98	4328.28	45729.37	8090.97
	Type g	14537.46	875.05	2853.97	4281.4	45585.29	8089.63

Tabel 4. 15 Hasil analisa struktur dinamis *pylon*

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I Eqx	Type a	42690.15	15229.3	2972.77	19187.95	110727.41	33348.71
	Type b	42589.25	15201.73	3003.6	19445.73	112191.04	33267.93
	Type c	42542.77	15176.24	2953.15	18976.76	109455.29	33222.44
	Type d	42459.76	15248.59	2985.07	19248.11	111081.11	33382.29
	Type e	42570.28	15237.89	3000.11	19400.09	111994.42	33364.83
	Type f	42604.82	15189.17	3009.8	19426.82	112171.59	33252.04
	Type g	42720.74	15190.41	2981.87	19207.26	110861.38	33253.65
Ekstrem I Eay	Type a	41421.65	15801.95	1817.13	17315.29	89073.52	37977.26
	Type b	41320.76	15774.38	1847.95	17573.06	90537.15	37896.47
	Type c	41274.27	15748.89	1797.5	17104.1	87801.39	37850.99
	Type d	41191.27	15821.24	1829.42	17375.44	89427.22	38010.83
	Type e	41301.79	15810.55	1844.47	17527.42	90340.53	37993.37
	Type f	41336.32	15761.82	1854.15	17554.15	90517.69	37880.58
	Type g	41452.25	15763.07	1826.23	17334.6	89207.48	37882.19

Tabel 4. 16 Hasil analisa struktur static *upper cross beam*

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I Eqx	Type a	4935.28	552.55	1952.35	2077.58	6928.83	2415.17
	Type b	4923.51	547.63	1945.1	2100.25	6878.75	2378.23
	Type c	4918.96	566.45	1938.77	1998.66	6837.33	2369.13
	Type d	4908.92	555.43	1934.05	2059.18	6880.55	2366.23
	Type e	4921.24	546.16	1943.96	2109.2	6891.67	2391.65
	Type f	4926.78	550.02	1941.21	2084.98	6855.77	2340.76
	Type g	4940.42	556.87	1949.13	2050.53	6910.8	2362.45
Ekstrem I Eay	Type a	5093.79	211.44	3277.72	1025.49	15662.62	2362.45
	Type b	5082.02	206.52	3291.09	1048.16	15575.74	2362.45
	Type c	5077.47	225.34	3288.17	946.56	15589.76	2362.45
	Type d	5069.31	214.33	3280.37	1007.08	15649.29	2362.45
	Type e	5079.75	205.05	3278.3	1057.11	15660.41	2362.45
	Type f	5085.29	208.91	3286.24	1032.88	15603.7	2362.45
	Type g	5098.93	215.76	3286.7	998.43	15601.04	2362.45

Tabel 4. 17 Hasil analisa struktur static *lower cross beam*

		Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Ekstrem I Eqx	Type a	16723.56	16723.56	2652.93	2825.18	8091.48	9952.33
	Type b	16700.07	16700.07	2651.83	2840.24	8060.88	10099.37
	Type c	16670.21	16670.21	2652.07	2876.88	8045.95	9770.19
	Type d	16746.38	16746.38	2652.71	2819.29	8021.11	9961.04
	Type e	16733.4	16733.4	2652.88	2844.26	8055.18	10085.68
	Type f	16683.54	16683.54	2652.23	2857.25	8064.22	10072.14
	Type g	16186.17	16186.17	3890.81	1037.26	3616.43	8800.4
Ekstrem I Eay	Type a	16186.17	16186.17	3890.81	1037.26	3616.43	8800.4
	Type b	16157.01	16157.01	3889.71	1052.32	3647.04	8947.44
	Type c	16139.28	16139.28	3889.95	1026.4	3661.97	8618.26
	Type d	16203.32	16203.32	3890.6	1029.62	3686.8	8809.11
	Type e	16190.35	16190.35	3890.77	1056.34	3652.73	8933.75
	Type f	16161.75	16161.75	3890.11	1046.01	3643.7	8920.21
	Type g	16200.94	16200.94	3890.07	1025.7	3608.65	8780.43

4.4.4 Analisa Staging

Metode pelaksanaan (*Staging Analysis*) konstruksi jembatan *cable stayed* ini didesain dengan *cantilever method*. Urutan pekerjaannya dimulai dengan pekerjaan *pylon* dari beton bertulang dengan *slip form*, pemasangan gelagar pada sisi *pylon* menggunakan perancah, pemasangan kabel, kemudian pemasangan *form traveler* pada gelagar yang telah terpasang untuk memasang gelagar berikutnya.

Sedangkan untuk metode analisisnya dilakukan dengan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution*. Dimulai dari keadaan final jembatan, kemudian dilanjutkan dengan melepas bagian per bagian hingga sampai keadaan awal. Dimana menggunakan program bantu MIDAS/Civil.

4.4.4.1 Analisa Pembebanan Staging

Pada saat pelaksanaan *staging analysis* beban *deck* jembatan akan dipikul oleh *form traveler* yang kemudian akan disalurkan pada jembatan.

Beban yang dipikul selama tahap pelaksanaan adalah:

- Berat sendiri gelagar per segmen (3m)

$$\begin{aligned}
 q_u &= (\text{Box} + \text{Melintang} + \text{Kantilever}) \times \text{LF} \\
 &= [(3881.86 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} \times 2) + (495.07 \text{ kg/m} \times 11 \text{ m}) + \\
 &\quad (36.72 \text{ kg/m} \times 1.5 \text{ m} \times 2)] \times 1,2 \\
 &= 44374,165 \text{ kg} \\
 &= 443,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Beban *form traveler* tipe *overhead triangle* berdasarkan produk Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1000 \text{ kN} \times \text{LF} \\
 &= 1000 \text{ kN} \times 1,25 \\
 &= 1250 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Total beban per segmen saat *staging* sebesar 1693,74 kN

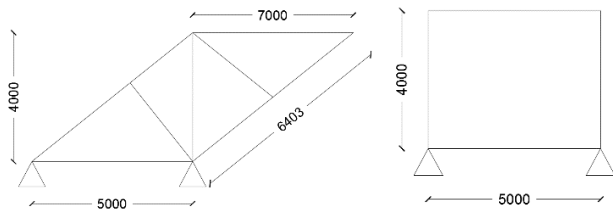
Spesifikasi *form traveler* yang akan digunakan dalam *staging analysis* mengikuti spesifikasi Hangzhou Nante Machinery Co.Ltd.

Tabel 4. 18 Spesifikasi Form Traveler

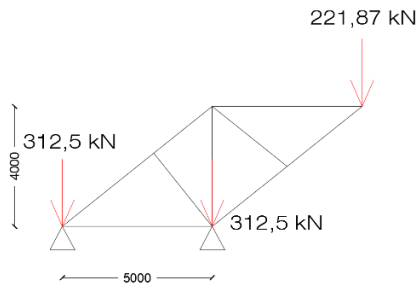
Item	Description	Specification
1	Model	FT-S
2	Capacity	100t ~ 480t
3	Segment Length	3.5m ~ 7.0m
4	Deck Width	5m ~ 35m
5	Bridge Curvature Radius	100m-unlimited
6	Bridge Type	Balance Cantilever Box Girder or Cable Stay
7	Launching Mechanism	Hydraulic
8	Formwork Material	Metal Sheet or Plywood Sheet
9	Shape of Bridge Section	Any shape
10	Production Cycle time	5 days – 7 days depend on site condition, concreting capacity, concrete design, pier height, reinforcement fabrication method etc.
11	Max. Bridge Slope	Longitudinal
		Transverse
		7%
		5%

**Gambar 4. 47** Form traveler yang digunakan

Sebelum beban *staging analysis* diinputkan pada program MIDAS/CIVIL V2011, terlebih dahulu dilakukan analisa distribusi beban dari *form traveler* ke gelagar dengan menggunakan program bantu SAP 2000

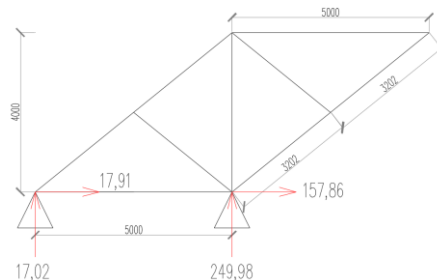


Gambar 4. 48 Spesifikasi form traveler (memanjang-melintang)



Gambar 4. 49 Permodelan dan input beban pada form traveler

Dari analisa menggunakan SAP 2000 didapatkan hasil analisa untuk reaksi dari *form traveler* akibat beban rencana yang akan diinputkan ke program MIDAS/CIVIL sebagai beban pelaksanaan.



Gambar 4. 50 Hasil analisa reaksi pada form traveler

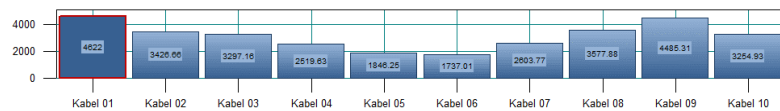
4.4.4.2 Pembebanan Kabel

Dalam pelaksanaannya, pada tiap kabel akan diberikan gaya tarik sebelum dibebani. Dengan adanya gaya tarik terlebih dahulu

agar dapat mengatur posisi akhir pada gelagar sebelum diberi beban. Bila kabel tidak dibebani terlebih dahulu akan mengakibatkan gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum adanya beban yang bekerja pada lantai kendaraan.

Dengan adanya program MIDAS CIVIL yang dapat membantu menganalisa besarnya gaya tarik pada tiap kabel dengan salah satu fitur yang ada yaitu *unknown load factor calculation*. Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan analisa gaya tarik pada tiap kabel dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

1. Memberikan gaya tarik (*stressing*) pada kabel sebesar 1 kN pada tiap kabel.
2. Memberikan batasan deformasi untuk tiap nodal pada lantai kendaraan. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan input program kondisi akhir yang diinginkan untuk lantai kendaraan. Batasan yang diberikan sebesar +0,01 m dan -0,01 m. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan hasil akhir pada lantai kendaraan yang melendut sebesar 0,01m setelah dilakukan penarikan kabel.
3. Ditentukan beban-beban yang bekerja yang dapat mempengaruhi hasil akhir sebelum adanya beban hidup. Beban-beban yang bekerja antara lain adalah beban mati (berat sendiri lantai kendaraan) dan beban mati tambahan.
4. Data yang telah diperlukan oleh program MIDAS CIVIL sehingga dapat melakukan iterasi. Program tersebut akan melakukan iterasi dari gaya yang diberikan sebelumnya sebesar 1 kN dengan batasan yang diberikan yaitu 0,01 m pada lantai kendaraan.
5. Hasil dari analisa adalah *load factor* untuk tiap kabel. Dari gaya tarik sebesar 1 kN diberikan *load factor* oleh program MIDAS CIVIL dari hasil iterasi. Hal ini berhubungan dengan salah satu fitur adalah *unknown load factor calculation*.



Gambar 4. 51 Gaya tarik awal tiap kabel

4.4.4.3 Konfigurasi Pembebanan

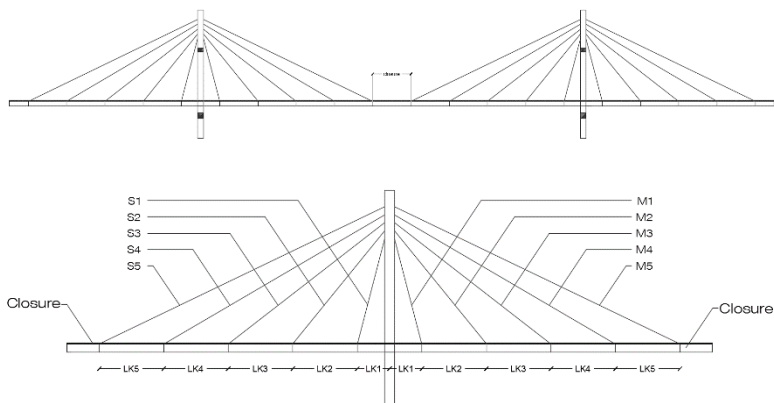
Pada saat pelaksanaan staging analysis beban deck jembatan akan dipikul oleh form traveler yang kemudian akan disalurkan pada jembatan. Untuk konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada **Tabel 4.19** berikut ini

Tabel 4. 19 Konfigurasi pembebanan untuk staging analysis

Kasus	Konfigurasi Beban
1	DL + <i>Form Traveler</i>

4.4.4.4 Tahapan Analisa Staging

Berikut adalah urutan pelaksanaan *staging analysis* dengan program bantu MIDAS/Civil. Dimana urutan pelaksanaan di lapangan sama dengan urutan analisisnya, namun pelaksanaan di lapangan menggunakan *forward method* sedangkan analisisnya menggunakan *backward solution*. Sebelumnya dilakukan penomoran terlebih dahulu terhadap kabel dan gelagar.

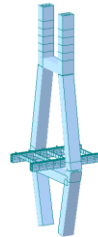


Gambar 4. 52 Segmental deck untuk staging analysis pada program bantu MIDAS

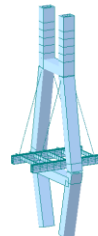
1. Pembangunan jembatan dimulai dari strktur *pylon*.



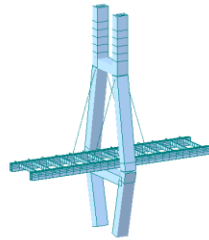
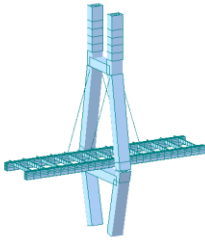
2. Pemasangan gelagar LK1 menggunakan *crane* dan ditempatkan di atas perancah sementara.



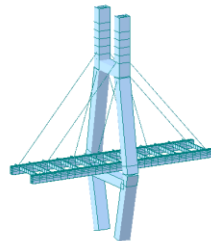
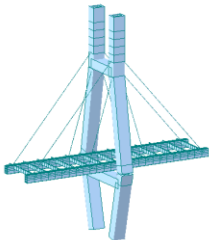
3. Pemasangan kabel S1 dan M1



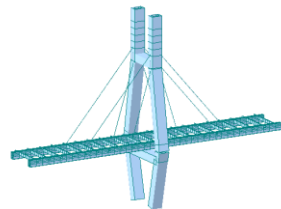
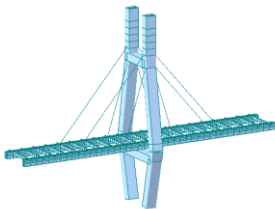
4. Pemasangan gelagar LK2 menggunakan *crane*



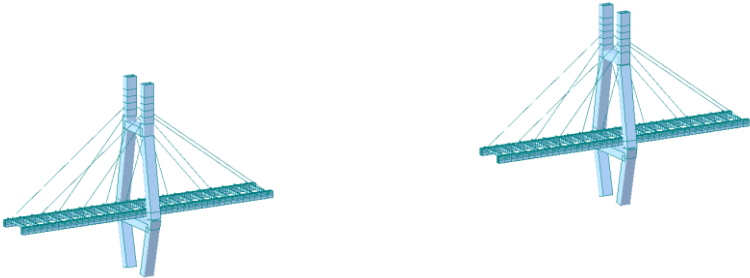
5. Pemasangan kabel S1 dan M1



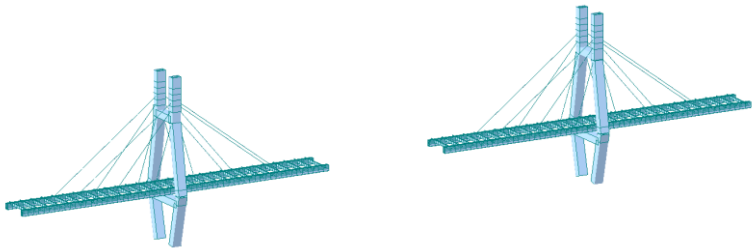
6. Pemasangan gelagar LK3 menggunakan *crane*



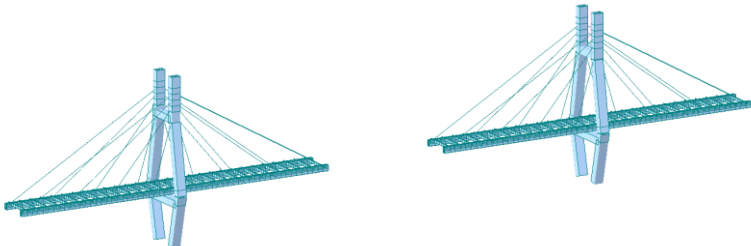
7. Pemasangan kabel S3 dan M3



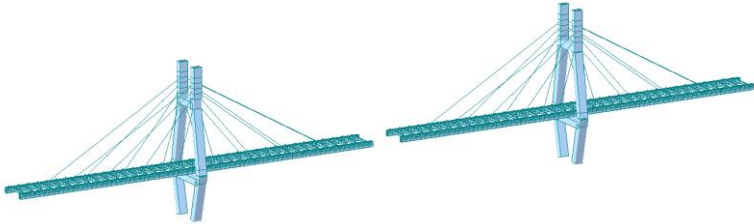
8. Pemasangan gelagar LK4 menggunakan *crane*



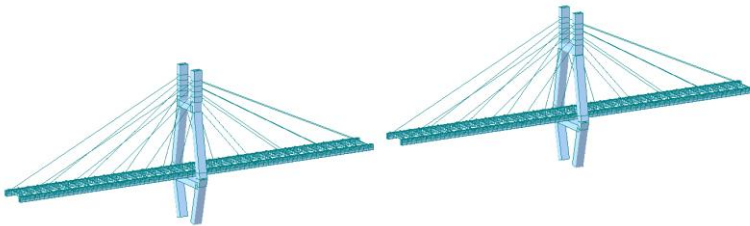
9. Pemasangan kabel S4 dan M4



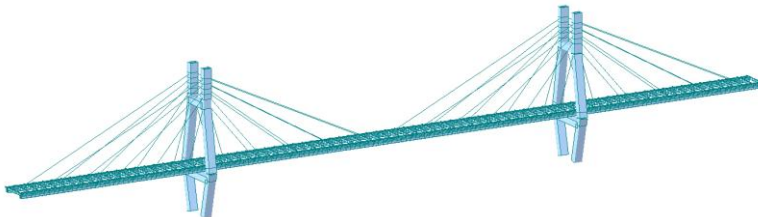
10. Pemasangan gelagar LK5 menggunakan *crane*



11. Pemasangan kabel S5 dan M5



12. Pemasangan closure



4.4.4.5 Hasil Analisa Staging

Tabel 4. 20 Hasil analisa staging box girder

Load	Stage	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Summation	CS0	7370.29	27.45	2325.66	88.85	17607.56	99.97
Summation	CS1	7355.39	27.45	2321.18	88.84	14891.28	99.97
Summation	CS2	6869.19	27.45	2176.09	88.84	14476.55	99.97
Summation	CS3	5783.6	27.44	1849.45	88.79	13601.28	99.95
Summation	CS4	4805.09	27.44	1555.54	88.79	12528.65	99.94
Summation	CS5	3127.03	27.37	1047.91	88.29	7299.46	99.75
Summation	CS6	3960.22	27.37	1296.48	88.29	10181.07	99.75
Summation	CS7	849.28	26.76	528	83.87	2555.89	98.04
Summation	CS8	1030.04	26.76	562.13	83.87	3151.37	98.04
Summation	CS9	546.6	18.4	267.47	42.14	1207.94	91.88
Summation	CS10	1552.22	18.4	686.24	42.14	3393.17	91.88

Tabel 4. 21 Hasil analisa staging *pylon*

Load	Stage	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Summation	CS0	20686.38	5392.15	81.93	19.99	225.96	11374.25
Summation	CS1	20662.8	5383.74	83.94	19.39	231.88	11357.16
Summation	CS2	20144.45	5198.67	6.59	42.67	229.37	10981.4
Summation	CS3	17793.76	4359.44	3.9	38.36	205.93	9277.34
Summation	CS4	16478.34	3889.81	3.58	39.66	204.78	8323.76
Summation	CS5	16595.6	3931.67	3.31	35.65	185.68	8408.76
Summation	CS6	16214.43	3795.59	3.25	37.02	189.61	8132.44
Summation	CS7	15375	3495.89	3.41	39.26	200.34	7523.92
Summation	CS8	14750.26	3272.85	5.74	68.32	345.18	7071.04
Summation	CS9	14707.46	3257.57	5.85	69.61	351.89	7040
Summation	CS10	14346.65	3128.75	7.29	85.4	433.57	6778.44

Tabel 4. 22 Hasil analisa staging *upper cross beam*

Load	Stage	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Summation	CS0	1872.87	0	981.44	0	1413.03	14.37
Summation	CS1	1869.6	0	981.44	0	1415.22	14.98
Summation	CS2	1797.71	0	981.44	0	1463.36	10.12
Summation	CS3	1471.67	0	981.44	0	1681.69	9.03
Summation	CS4	1289.22	0	981.44	0	1803.87	7.45
Summation	CS5	1305.48	0	981.44	0	1792.99	7.07
Summation	CS6	1252.61	0	981.44	0	1828.39	6.6
Summation	CS7	1136.18	0	981.44	0	1906.36	6.82
Summation	CS8	1049.53	0	981.44	0	1964.39	11.08
Summation	CS9	1043.59	0	981.44	0	1968.37	11.33
Summation	CS10	993.54	0	981.44	0	2001.88	14.34

Tabel 4. 23 Hasil analisa staging *lower cross beam*

Load	Stage	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
Summation	CS0	6380.97	0	1667.4	0	8164.78	12.46
Summation	CS1	6371.61	0	1667.4	0	8158	12.26
Summation	CS2	6165.91	0	1667.4	0	8008.91	19.95
Summation	CS3	5233.06	0	1667.4	0	7332.84	17.95
Summation	CS4	4711.05	0	1667.4	0	6954.51	18.86
Summation	CS5	4757.58	0	1667.4	0	6988.24	16.89
Summation	CS6	4606.32	0	1667.4	0	6878.61	17.67
Summation	CS7	4273.19	0	1667.4	0	6637.18	18.76
Summation	CS8	4025.27	0	1667.4	0	6457.5	32.78
Summation	CS9	4008.29	0	1667.4	0	6445.19	33.39
Summation	CS10	3865.1	0	1667.4	0	6341.42	40.89

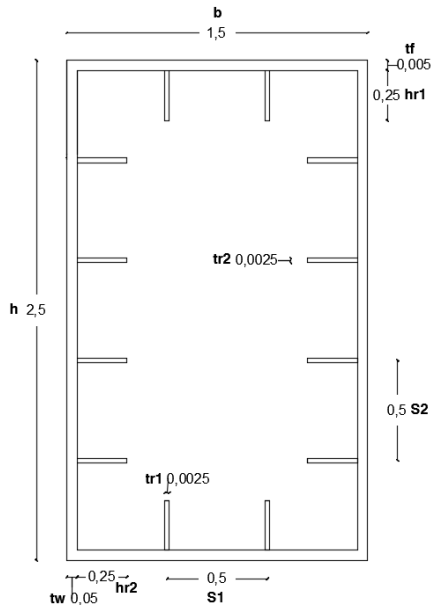
4.5 Box Girder

4.5.1 Perencanaan Box Girder

Desain gelagar utama jembatan multi-span cable-stayed ini menggunakan twin rectangular box girder dengan dimensi 2500.1500.60.60 dengan rusuk pada sisi atas, bawah, kiri dan kanan seperti pada **Gambar 4.53**

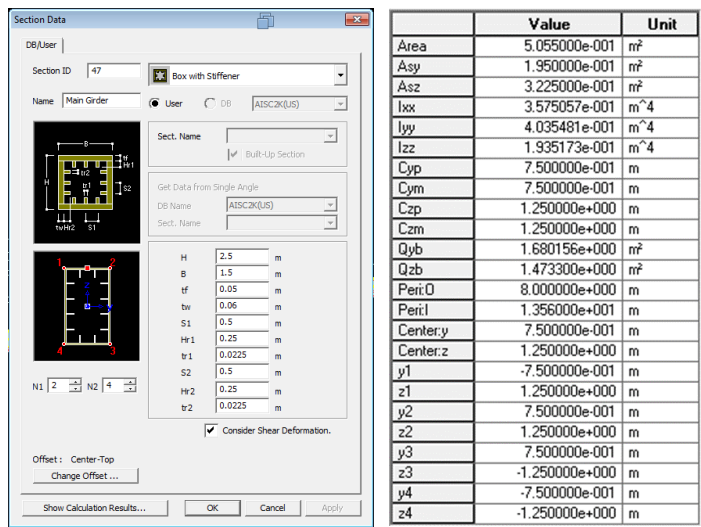
Data perencanaan sebagai berikut :

$A = 0,505 \text{ m}^2$	$i_x = 0,8936 \text{ m}$
$h = 2,5 \text{ m}$	$i_y = 0,618 \text{ m}$
$b = 1,5 \text{ m}$	$I_x = 0,4035 \text{ m}^4$
$h_r = 0,25 \text{ m}$	$I_y = 0,193 \text{ m}^4$
$S_2 = 0,5 \text{ m}$	$Z_x = 0,3228 \text{ m}^3$
$t_r = 0,0225 \text{ m}$	$Z_y = 0,2574 \text{ m}^3$
$t_w = 0,06 \text{ kg/m}$	$S_x = 0,4031 \text{ m}^3$
$t_f = 0,05 \text{ mm}$	$S_y = 0,2942 \text{ m}^3$



Gambar 4. 53 Detail gelagar utama (satuan m)

Berikut adalah *section data* dan *calculation result* dengan menggunakan program MIDAS CIVIL



Gambar 4. 54 Analisa section data dan section properties

4.5.2 Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur gelagar utama dilakukan dengan program bantu MIDAS/Civil. Dengan hasil analisa seperti pada bab analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dan minimum dari semua kombinasi, lihat **Tabel 4.24** berikut ini.

Tabel 4. 24 Gaya dalam pada gelagar utama

Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN-m)	Moment-y (kN-m)	Moment-z (kN-m)
25177.43	5674.6	3344.16	5467.62	55716.89	58016.09

4.5.3 Kontrol Kemampuan penampang

4.5.3.1 Analisa kuat aksial

- Analisa Batang Tarik (SNI 1729-2015 D2-1)

$$\begin{aligned} P_n &= A_g \cdot f_y \\ &= 505000 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\ &= 126250000 \text{ N} \\ &= 126250 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \cdot 126250 \text{ kN} \\ &= 113625 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 113625 \text{ kN} > P_u = 25117,43 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

- Analisa Batang Tekan

Analisa kelangsingan

Sumbu Z

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 161,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h/t_w &= 2,5 / 0,06 \\ &= 41,667 \end{aligned}$$

$$\lambda_r > h/t_w \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_z = 893,6 \text{ mm}$$

$$L_z = 15000 \text{ mm (jarak antar kabel)}$$

$$K_z = 1$$

$$\begin{aligned} \lambda_z &= \frac{L_z \cdot K_z}{r_z} \\ &= 13,98 \end{aligned}$$

Sumbu Y

$$\begin{aligned} \lambda_y &= 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 39,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b/t_f &= 1,5 / 0,05 \\ &= 30 \end{aligned}$$

$$\lambda_r > b/t_f \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_y = 893,6 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm (jarak gelagar melintang kabel)}$$

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot K_y}{r_y} \\ = 5,59$$

$$\lambda_z > \lambda_y$$

$$\lambda_{\text{pakai}} = 13,98$$

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{SNI 1729-2015 E3-2})$$

$$13,98 \leq 133,21$$

Maka F_{cr} ,

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \\ = 10077,56$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e} \right] \\ = 247,417$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} \cdot A_g \\ = 0,9 \times 247,417 \times 505000 \\ = 112451310,3 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 112451,31 \text{ kN} > P_u = 25117,43 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.5.3.2 Analisa kuat geser

Sumbu Y (pada sayap)

$$V_{uy} = 605,02 \text{ kN}$$

$$A_w = 2 \cdot t_f \cdot B_f \\ = 2 \cdot 50 \cdot 1500 \\ = 150000 \text{ mm}^2$$

$$b/t_f = 1400/50$$

$$= 28$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6})$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{1400}\right)^2}$$

$$= 44.2$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 206.84$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} > \frac{h}{t_w} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

$$\text{Maka, } C_v = 1,0$$

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1})$$

$$= 0,6 \times 250 \times 150000 \times 1$$

$$= 22500000$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 22500000$$

$$= 20250000 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 20250 \text{ kN} > V_{uy} = 5674,60 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

Sumbu Z (pada badan)

$$V_{uz} = 3340,96 \text{ kN}$$

$$A_w = 2 \cdot t_w \cdot H$$

$$= 2 \cdot 50 \cdot 2400$$

$$= 288000 \text{ mm}^2$$

$$h/t_w = 2400/50$$

$$= 40$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$\begin{aligned}
 K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\
 &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2400}\right)^2} \\
 &= 120,2
 \end{aligned}$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 341,106$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\
 &= 0,6 \times 250 \times 288000 \times 1 \\
 &= 43200000
 \end{aligned}$$

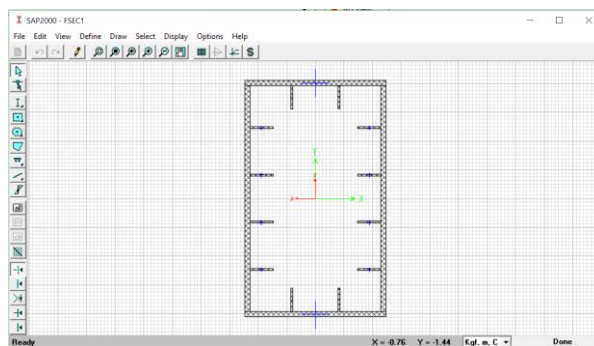
$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \times 43200000 \\
 &= 38880000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 38880 \text{ kN} > V_{uz} = 3340,16 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.5.3.3 Analisa kuat lentur

Dengan menggunakan program bantu SAP2000 didapatkan nilai modulus plastis penampang sebagai berikut

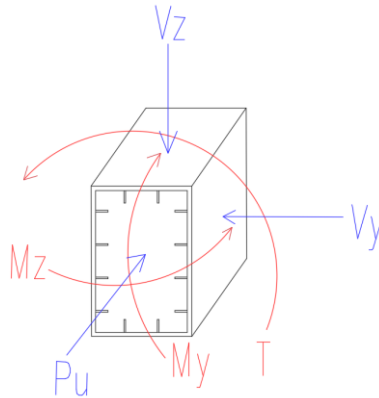


Gambar 4. 55 Penampang box

Dari analisa SAP2000 dapat dilihat bahwa asumsi *local axis* harus disamakan, dimana arah X pada SAP2000 adalah arah Y pada MIDAS CIVIL, dan arah Y pada SAP2000 adalah arah Z pada MIDAS CIVIL, maka didapat nilai sebagai berikut :

$$Z_x = Z_y = 0,3228 \text{ m}^3$$

$$Z_y = Z_z = 0,2574 \text{ mm}^3$$



Gambar 4. 56 Kordinat box

Kontrol tekuk lokal

Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b}{2t_f} \\ &= \frac{1,5}{0,05} \\ &= 15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,12 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 31.67\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{2t_w} \\ &= \frac{2,5}{2,0,06} \\ &= 20,83\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 2,42 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 68.44\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ (OK)}$$

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

$$M_n = Z_y \cdot F_y \quad \text{SNI 1729-2015 F7.1}$$

Momen Arah Z (pada sayap)

$$M_{uz} = 6354,03 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{nz} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 257400000 \times 250 \\ &= 80700000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nz} &= 0,9 \cdot 80700000000 \\ &= 72630000000 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{nz} = 72630 \text{ kN} > M_{uz} = 58016,09 \text{ kNm} \quad \textbf{(OK)}$$

Momen Arah Y (pada badan)

$$M_{uy} = 55619,43 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 257400000 \times 250 \\ &= 64350000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ny} &= 0,9 \cdot 64350000000 \\ &= 57915000000 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{ny} = 57915 \text{ kNm} > M_{uy} = 55716,89 \text{ kNm} \quad \textbf{(OK)}$$

4.5.3.4 Kombinasi lentur + aksial

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{27,350.71}{112,451.31} = 0.243222688 \geq 0,2$$

Maka digunakan rumus 1,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{SNI 1729-2015, H1-1a}$$

Dimana,

$$P_r = P_u = 25177,43 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 112451,31 \text{ kN}$$

$$M_{rz} = M_{uz} = 6354,03 \text{ kNm}$$

$$M_{cz} = M_{nz} = 72630 \text{ kNm}$$

$$M_{ry} = M_{uy} = 55716,89 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = M_{ny} = 64350 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) &= \frac{25177,43}{112451,31} + \frac{8}{9} \left(\frac{6354,03}{72630} + \frac{55716,89}{64350} \right) \\ &= 0.957666215 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$0.957666215 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.5.3.4 Analisa kuat torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$T_u = 1166,27 \text{ kNm}$$

$$h/t = 2500/60$$

$$= 41.667$$

$$2,45 \sqrt{E/f_y} = 69.29$$

$$h/t > 2,45 \sqrt{E/f_y} \text{ (SNI 1729-2015, H3-3)}$$

Maka,

$$F_{cr} = 0,6f_y$$

$$= 150 \text{ N/mm}^2$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta nilai torsi, C, dapat secara konservatif diambil sebagai berikut :

$$C = 2.(B - t).(H - t).t - 4,5.(4-\pi)t.3$$

$$= 2 \times (1,5 - 0,05) \times (2,5 - 0,06) \times 0,06 - 4,5 \times (4-\pi.0,05)3$$

$$= 0.354901926 \text{ mm}^3$$

$$\phi T_c = 0,9. F_{cr}. C$$

$$= 0,9 \times 150 \times 0.354$$

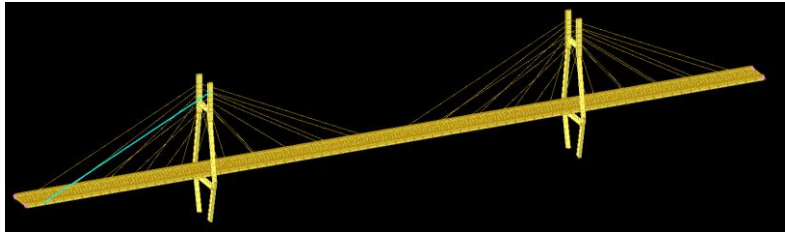
$$= 4791176 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$\phi T_n = 47911,76 \text{ kNm} > T = 5467,62 \text{ kNm (OK)}$$

4.5.4 Hasil Analisa Struktur saat Kabel Putus

Pada kasus ini diasumsikan satu kabel mengalami putus seperti dapat dilihat pada **Gambar 4.57**



Gambar 4. 57 Asumsi 1 kabel putus

Dengan hasil analisa dari program bantu MIDAS/Civil, analisa struktur didapatkan nilai gaya dalam maksimum dan minimum dari semua kombinasi

Tabel 4. 25 Gaya dalam pada gelagar utama saat kabel putus

Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
25686.41	5646.28	3425.2	4769.9	58726.01	57751.73

4.5.5 Kontrol Kemampuan penampang saat Kabel Putus

4.5.5.1 Analisa kuat aksial

- Analisa Batang Tarik (SNI 1729-2015 D2-1)

$$\begin{aligned}
 P_n &= A_g \cdot f_y \\
 &= 505000 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 126250000 \text{ N} \\
 &= 126250 \text{ kN} \\
 \phi P_n &= 0,9 \cdot 126250 \text{ kN} \\
 &= 113625 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 113625 \text{ kN} > P_u = 25686,41 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

- Analisa Batang Tekan
Analisa kelangsingan

Sumbu Z

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 161,22$$

$$h/t_w = 2,5 / 0,06$$

$$= 41,667$$

$$\lambda_r > h/t_w \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_z = 893,6 \text{ mm}$$

$$L_z = 15000 \text{ mm (jarak antar kabel)}$$

$$K_z = 1$$

$$\lambda_z = \frac{L_z \cdot K_z}{r_z}$$

$$= 13,98$$

Sumbu Y

$$\lambda_y = 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 39,59$$

$$b/t_f = 1,5 / 0,05$$

$$= 30$$

$$\lambda_r > b/t_f \text{ (penampang kompak)}$$

$$r_y = 893,6 \text{ mm}$$

$$L_y = 5000 \text{ mm (jarak gelagar melintang kabel)}$$

$$K_y = 1$$

$$\lambda_y = \frac{L_y \cdot K_y}{r_y}$$

$$= 5,59$$

$$\lambda_z > \lambda_y$$

$$\lambda_{\text{pakai}} = 13,98$$

Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan sebagai berikut

$$\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (SNI 1729-2015 E3-2)}$$

$$13,98 \leq 133,21$$

Maka F_{cr} ,

$$\begin{aligned} f_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K.L}{r}\right)^2} \\ &= 10077,56 \\ F_{cr} &= \left[0,658 \frac{f_y}{f_e}\right] \\ &= 247,417 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi F_{cr} . A_g \\ &= 0,9 \times 247,417 \times 505000 \\ &= 112451310,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi P_n = 112451,31 \text{ kN} > P_u = 25686,41 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

4.5.5.2 Analisa kuat geser

Sumbu Y (pada sayap)

$$\begin{aligned} V_{uy} &= 605,02 \text{ kN} \\ A_w &= 2. t_f . B_f \\ &= 2. 50. 1500 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \\ b/t_f &= 1400/50 \\ &= 28 \\ a = S_1 &= 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)} \\ K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\ &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{1400}\right)^2} \\ &= 44.2 \end{aligned}$$

$$1,10 \sqrt{\frac{K_v . E}{F_y}} = 206.84$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\ &= 0,6 \times 250 \times 150000 \times 1 \\ &= 22500000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \times 22500000 \\ &= 20250000 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 20250 \text{ kN} > V_{uy} = 3597,65 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Sumbu Z (pada badan)

$$V_{uz} = 3340,96 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_w &= 2. \text{ tw. } H \\ &= 2. 50. 2400 \\ &= 288000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h/tw &= 2400/50 \\ &= 40 \end{aligned}$$

$$a = S_1 = 500 \text{ mm (jarak bersih pengaku)}$$

$$\begin{aligned} K_v &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2.6}) \\ &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{500}{2400}\right)^2} \\ &= 120,2 \end{aligned}$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} = 341,106$$

$$1,10 \sqrt{\frac{Kv.E}{F_y}} > \frac{h}{tw} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-3})$$

Maka, $C_v = 1,0$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729-2015 G2-1}) \\ &= 0,6 \times 250 \times 288000 \times 1 \\ &= 43200000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,9 \times 43200000 \\ &= 38880000 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = 38880 \text{ kN} > V_{uz} = 3425,20 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

4.5.5.3 Analisa kuat lentur

Kontrol tekuk lokal

Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b}{2t_f} \\ &= \frac{1,5}{0,05} \\ &= 15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,12 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 31,67\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{2t_w} \\ &= \frac{2,5}{2,0,06} \\ &= 20,83\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 2,42 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 68,44\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

Maka gelagar box termasuk penampang kompak.

$$M_n = Z_y \cdot F_y \quad \text{SNI 1729-2015 F7.1}$$

Momen Arah Z (pada sayap)

$$M_{uz} = 6354,03 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}M_{nz} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 257400000 \times 250 \\ &= 80700000000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{nz} &= 0,9 \cdot 80700000000 \\ &= 72630000000\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{nz} = 72630 \text{ kNm} > M_{uz} = 57751,73 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Momen Arah Y (pada badan)

$$M_{uy} = 55619,43 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_z \cdot F_y \\ &= 257400000 \times 250 \\ &= 64350000000 \text{ Nmm} \\ \phi M_{ny} &= 0,9 \cdot 64350000000 \\ &= 57915000000 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi M_{ny} = 57915,00 \text{ kNm} > M_{uy} = 58726,01 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

4.5.5.4 Kombinasi lentur + aksial

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{27,350.71}{112,451.31} = 0.243222688 \geq 0,2$$

Maka digunakan rumus 1,

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{SNI 1729-2015, H1-1a}$$

Dimana,

$$P_r = P_u = 25686,41 \text{ kN}$$

$$P_c = \phi P_n = 113539,29 \text{ kN}$$

$$M_{rz} = M_{uz} = 3438,02 \text{ kNm}$$

$$M_{cz} = M_{nz} = 72630 \text{ kNm}$$

$$M_{ry} = M_{uy} = 58726,01 \text{ kNm}$$

$$M_{cy} = M_{ny} = 64350 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) &= \frac{25686,41}{113539,29} + \frac{8}{9} \left(\frac{3438,02}{72630} + \frac{58726,01}{64350} \right) \\ &= 0.987666215 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$0.987666215 \leq 1 \quad (\text{OK})$$

4.5.5.4 Analisa kuat torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga.

$$T_u = 1166,27 \text{ kNm}$$

$$h/t = 2500/60$$

$$= 41.667$$

$$2,45 \sqrt{E/f_y} = 69.29$$

$$h/t > 2,45 \sqrt{E/f_y} \text{ (SNI 1729-2015, H3-3)}$$

Maka,

$$F_{cr} = 0,6f_y$$

$$= 150 \text{ N/mm}^2$$

Untuk penampang persegi berongga konstanta nilai torsi, C, dapat secara konservatif diambil sebagai berikut :

$$C = 2.(B - t).(H - t).t - 4,5.(4-\pi)t^3$$

$$= 2 \times (1,5 - 0,05) \times (2,5 - 0,06) \times 0,06 - 4,5 \times (4-\pi \cdot 0,05)^3$$

$$= 0.354901926 \text{ mm}^3$$

$$\phi T_c = 0,9 \cdot F_{cr} \cdot C$$

$$= 0,9 \times 150 \times 0.354$$

$$= 4791176 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$\phi T_n = 47911,76 \text{ kNm} > T = 4769,90 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

4.5.6 Sambungan Box

Sambungan gelagar utama berupa sambungan baut dengan pelat baja. Sambungan pada semua elemen gelagar utama dianggap memikul beban yang sama, dengan gaya-gaya dalam yaitu :

$$P_u = 25177,43 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 5674,60 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 3344,16 \text{ kN}$$

$$M_{uy} = 55716,89 \text{ kNm}$$

$$M_{uz} = 58016,09 \text{ kNm}$$

$$T_u = 5467,62 \text{ kNm}$$

Data perencanaan:

Baut Tipe Tumpu

$$d = \text{Ø}35 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_u &= 250 \text{ Mpa} \\ A_b &= 0,25 \cdot \pi \cdot (35 \text{ mm})^2 = 962,5 \text{ mm}^2 \\ d_p &= 35 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} = 36,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat penyambung

$$\begin{aligned} t_p &= 30 \text{ mm (2 bidang geser)} \\ B_J &= 41 \\ f_u &= 410 \text{ Mpa} \\ f_y &= 250 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat nominal satu (1) baut

- Kuat geser (V_d)

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,5 \text{ (tidak ada ulir pada bidang geser)} \\ m &= 2 \text{ (dua bidang geser)} \\ \phi V_n &= \phi f_u r_1 A_b m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 250 \cdot 962,5 \cdot 2 \\ &= 180,30 \text{ kN (menentukan)} \end{aligned}$$
- Kuat tumpu (R_d)

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi f_u 2,4 d_b t_p \\ &= 0,75 \cdot 250 \cdot 2,4 \cdot 36,5 \cdot 30 \\ &= 808,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 180,30 \text{ kN}$$

Pelat Sayap

Syarat jarak antar baut

$$\begin{aligned} 3d_b &\leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 3 \times 35 &\leq S \leq 15 \cdot 30 \text{ mm} \\ 105 &\leq S \leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai $S = 120 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{aligned} 1,5d_b &\leq S \leq 4t_p + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 1,5 \times 35 &\leq S \leq 4 \times 30 + 100 \\ 52,5 &\leq S \leq 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai $S_1 = 75 \text{ mm}$

Pelat Badan

Syarat jarak antar baut

$$3db \leq S \leq 15 \cdot tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \times 35 \leq S \leq 15 (30 \text{ mm})$$

$$105 \leq S \leq 450 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S = 120 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5db \leq S \leq 4tp + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 35 \leq S \leq 4 \cdot 30 + 100$$

$$52,5 \leq S \leq 220 \text{ mm}$$

Dipakai nilai $S_1 = 75 \text{ mm}$

Kebutuhan baut box

Perhitungan jumlah baut dihitung dengan mempertimbangkan semua gaya-gaya dalam, baik itu gaya geser, aksial, momen dan torsi.

4.5.4.1 Sambungan pelat badan

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat badan penampang box, terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat badan penampang box, seperti berikut ini

$$V_{uz} = 3344,16 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{uz}}{B} = \frac{58016,09}{1,5} = 37144,59 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{uz} &= P_u \left(\frac{H}{2(B+H)} \right) \\ &= 25177,43 \left(\frac{1,5}{2(1,5+2,5)} \right) \\ &= 4720,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H} \right) \\ &= \frac{5467,62}{2,5} \left(\frac{1,5}{1,5+2,5} \right) \\ &= 820,14 \text{ N} \end{aligned}$$

Resultan gaya

$$\begin{aligned}
 R_s &= \sqrt{(V_{uz} + T)^2 + \left(P_{uz} + \frac{M_{uz}}{B}\right)^2} \\
 &= \sqrt{(3344,16 + 820,14)^2 + \left(4720,76 + \frac{58016,09}{1,5}\right)^2} \\
 &= 42071,96
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{baut}} &= R_s / \phi V_n \\
 &= 42071,96 / 360,609 \\
 &= 235 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

4.5.4.2 Sambungan pelat sayap

Untuk menghitung jumlah baut pada pelat badan penampang box, terlebih dahulu dicari gaya-gaya apa saja yang akan ditahan oleh pelat badan penampang box, seperti berikut ini

$$V_{uy} = 5674,60 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{uy}}{B} = \frac{55716,89}{1,5} = 38677,39 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 P_{uy} &= P \cdot \left(\frac{B}{2(B+H)}\right) \\
 &= 25177,43 \left(\frac{1,5}{2(1,5+2,5)}\right) \\
 &= 4720,76 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

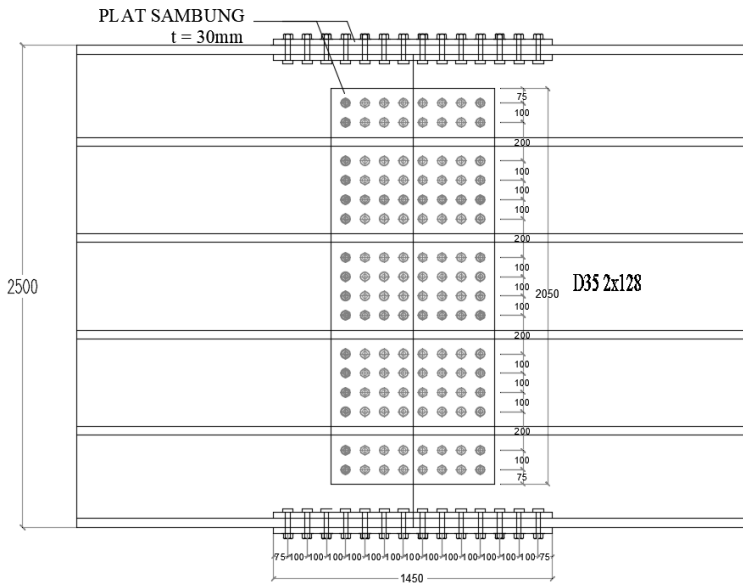
$$\begin{aligned}
 T &= \frac{T_u}{H} \left(\frac{B}{B+H}\right) \\
 &= \frac{5467,62}{2,5} \left(\frac{1,5}{1,5+2,5}\right) \\
 &= 820,14 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Resultan gaya

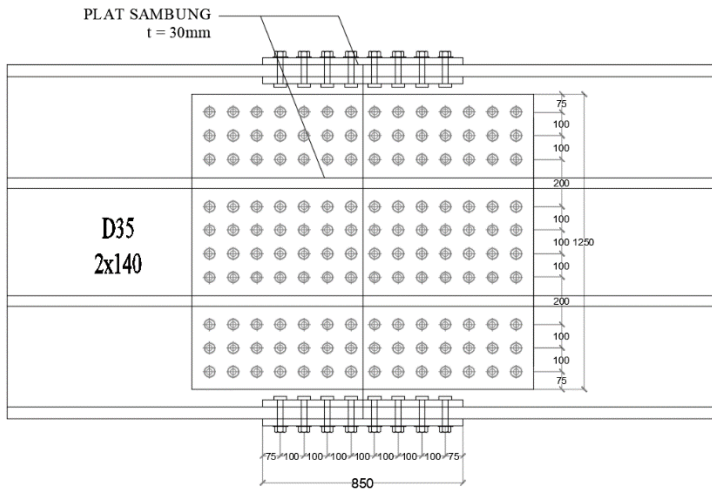
$$\begin{aligned}
 R_s &= \sqrt{(V_{uy} + T)^2 + \left(P_{uy} + \frac{M_{uy}}{B}\right)^2} \\
 &= \sqrt{(5674,60 + 820,14)^2 + \left(4720,76 + \frac{55716,89}{1,5}\right)^2} \\
 &= 43881,45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{baut}} &= R_s / \phi V_n \\
 &= 43881,45 / 180,30 \\
 &= 243,37 \\
 &= 280 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

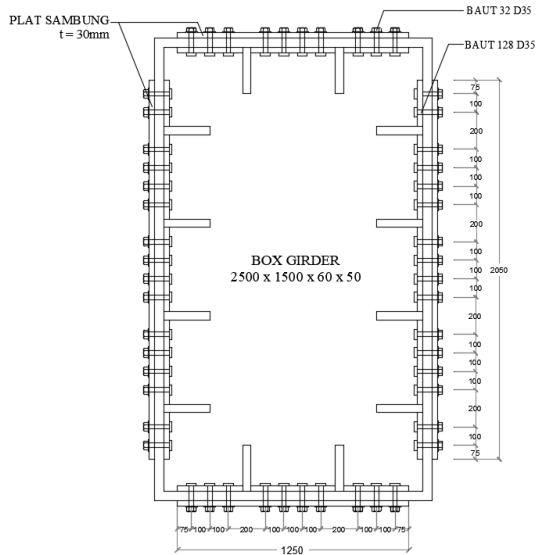
Sebagai ilustrasi sambungan pada gelagar utama dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 58 Sambungan gelagar utama pada badan



Gambar 4. 59 Sambungan gelagar utama pada sayap



Gambar 4. 60 Tampak melintang sambungan box

4.6 Struktur Kabel

Struktur kabel merupakan salah satu struktur utama pada jembatan *cable-stayed*, struktur kabel akan memikul beban dari lantai kendaraan. Beban yang dipikul berupa beban tetap, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban saat pelaksanaan. Semua beban tersebut kemudian akan disalurkan ke menara (*pylon*).

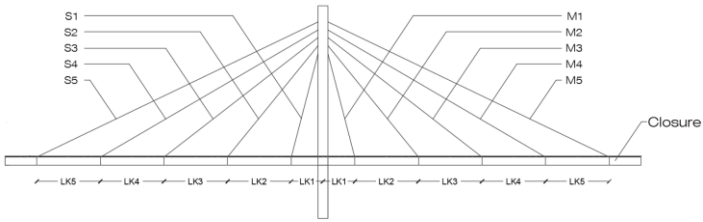
4.6.1 Data Perencanaan

Pada bab preliminary desain telah dijelaskan bahwa ada dua jenis kabel paralel VSL 7-wire strand yang dapat digunakan untuk desain jembatan kabel. Pada desain ini digunakan kabel yang spesifikasinya disesuaikan dengan persyaratan RSNI T-03-2005 pasal 12.6, yang menyatakan bahwa kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat Tarik minimum 1800 N/mm², maka dipakai kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270.

Tabel 4. 26 Jenis kabel

Standard	ASTM A 416-06 Grade 270	<u>Euronorme</u> 138-3
Ø (mm)	15,2	15,7
A _s (mm ²)	140	150
<u>f_u</u> (<u>f_{lim}</u> =0,7f _u)(Mpa)	1860 (1302)	1770 (1239)
<u>Ukuran anker</u>	7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand	

Dalam perencanaan akan digunakan kabel tipe I (15,2 mm)



Gambar 4. 61 Tatanan system kabel dan penamaan kabel

Jumlah *strand* dan luas kabel awal (*preliminary design*)

Tabel 4. 27 Perhitungan penampang dan jumlah strand kabel

No	a (°)	W _k + P (kg)	a (m)	Asc (m ²)	Asc (mm ²)	n (kabel)	r m	d m
S5	26	957644.5	20	0.014720547	14720.55	106	0.068	0.137
S4	30	957644.5	40	0.0129346	12934.6	93	0.064	0.128
S3	38	957644.5	60	0.010522095	10522.09	76	0.058	0.116
S2	51	957644.5	80	0.00835339	8353.39	60	0.052	0.103
S1	75	957644.5	100	0.006806443	6806.443	49	0.047	0.093
M1	75	957644.5	100	0.006806443	6806.443	49	0.047	0.093
M2	51	957644.5	80	0.00835339	8353.39	60	0.052	0.103
M3	38	957644.5	60	0.010522095	10522.09	76	0.058	0.116
M4	30	957644.5	40	0.0129346	12934.6	93	0.064	0.128
M5	26	957644.5	20	0.014720547	14720.55	106	0.068	0.137

4.6.2 Gaya *Stressing*

Dalam pelaksanaannya masing-masing kabel diberi gaya Tarik (*stressing*) terlebih dahulu sebelum dibebani. Hal ini dimaksudkan untuk mengatur posisi gelagar agar sesuai dengan posisi akhir sebelum menerima beban hidup. Apabila gaya Tarik ini tidak diberikan pada kabel, gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum menerima beban hidup, hal ini terjadi akibat deformasi kabel karena dibebani lantai kendaraan. Dengan bantuan program MIDAS CIVIL dapat dianalisa besarnya gaya tarik masing-masing kabel dengan fitur *unknown load factors calculation*.

Langkah-langkah analisa gaya tarik kabel akan dijelaskan sebagai berikut :

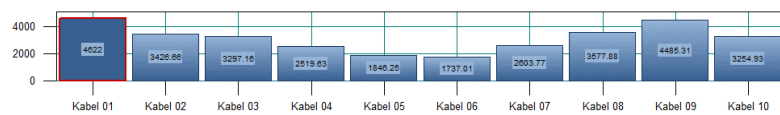
1. Memberikan gaya tarik pada tiap kabel sebesar 1 unit (dalam hal ini kN)
2. Member batasan deformasi untuk nodal-nodal pada lantai kendaraan. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan input pada program kondisi final yang diinginkan untuk lantai kendaraan. Besarnya batasan yang di masukkan dalam analisa adalah sebesar +0,01m dan -0,01m, yang berarti bahwa lantai kendaraan boleh melendut maksimal + 0,01 m pada kondisi akhir setelah dilakukan *stressing*.

3. Menentukan beban apa saja yang memengaruhi kondisi akhir sebelum diberi beban hidup. Beban-beban tersebut adalah beban tetap dan beban superimpose.
4. Melakukan iterasi dengan program MIDAS CIVIL pada gaya tarik yang telah diberikan sebelumnya sebesar 1 kN.
5. Hasil dari analisa adalah *load factor* pada masing-masing kabel. Hal ini berhubungan dengan menu *unknown load factors calculation*.

Masing-masing gaya kabel hasil iterasi dapat dilihat dibawah,

Tabel 4. 28 Gaya kabel akibat pretension 1 kN (*tunning cable*)

Kabel	Pretension
S5	4622.005 kN
S4	3426.662 kN
S3	3297.156 kN
S2	2519.627 kN
S1	1846.252 kN
M1	1737.012 kN
M2	2603.771 kN
M3	3577.88 kN
M4	4485.306 kN
M5	3254.932 kN



Gambar 4. 62 Cable force tuning

Dari gaya tarik awal (pre-tension) tersebut dapat diperoleh kebutuhan strand dan luas penampang kabel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada berikut :

$$\begin{aligned}
 F_u \text{ kabel} &= 1860 \text{ mpa} \\
 F_u \text{ ijin} &= 0.45 \times 1860 \text{ mpa} \\
 &= 83700000 \text{ Kg/m}^2 \\
 A_s &= 140 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 29 Kebutuhan luas penampang kabel akibat pretension 1 kN

Kabel	f ijin (kg/m ²)	force (kg)	A perlu (m ²)	N perlu (kabel)	N perlu (kabel)	N prtns (kabel)	A prtns (mm ²)	r (mm)	d (mm)
S5	83700000	462200.5	0.005522109	3.94436E-05	39.44363	43	6020	43.79	87.57
S4	83700000	342666.2	0.004093981	2.92427E-05	29.24272	43	6020	43.79	87.57
S3	83700000	329715.6	0.003939254	2.81375E-05	28.13753	31	4340	37.18	74.35
S2	83700000	251962.7	0.003010307	2.15022E-05	21.50219	31	4340	37.18	74.35
S1	83700000	184625.2	0.002205797	1.57557E-05	15.75569	22	3080	31.32	62.64
M1	83700000	173701.2	0.002075283	1.48235E-05	14.82345	22	3080	31.32	62.64
M2	83700000	260377.1	0.003110838	2.22203E-05	22.22027	31	4340	37.18	74.35
M3	83700000	357788	0.004274648	3.05332E-05	30.5332	31	4340	37.18	74.35
M4	83700000	448530.6	0.005358789	3.82771E-05	38.27706	43	6020	43.79	87.57
M5	83700000	325493.2	0.003888808	2.77772E-05	27.7772	43	6020	43.79	87.57

Kemudian A pakai diinput pada MIDAS, dan didapatkan gaya kabel yang baru, diambil gaya- gaya maksimum dari semua kombinasi yang ada, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel berikut ini :

Tabel 4. 30 Gaya masing-masing kabel

Kabel	A Pretension
S ₅	5592.895 kN
S ₄	6153.412 kN
S ₃	4993.946 kN
S ₂	5378.864 kN
S ₁	4099.186 kN
M ₁	4281.635 kN
M ₂	5855.712 kN
M ₃	5462.307 kN
M ₄	6408.284 kN
M ₅	4775.287 kN

Dari gaya-gaya maksimum tersebut dapat diperoleh kebutuhan strand dan luas penampang kabel yang sebenarnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4.31** berikut ini.

Tabel 4. 31 Kebutuhan luas penampang kabel sebenarnya (A_{pakai})

Kabel	f ijin (kg/m ²)	force (kg)	A perlu (m ²)	N perlu (kabel)	N perlu (kabel)	N pakai (kabel)	A pakai (mm ²)	r (mm)	d (mm)
S5	83700000	559289.5	0.006682072	4.77291E-05	47.72909	61	8540	52.15117662	104.3024
S4	83700000	615341.2	0.007351746	5.25125E-05	52.51247	61	8540	52.15117662	104.3024
S3	83700000	499394.6	0.005966483	4.26177E-05	42.61773	61	8540	52.15117662	104.3024
S2	83700000	537886.4	0.006426361	4.59026E-05	45.90258	61	8540	52.15117662	104.3024
S1	83700000	409918.6	0.004897474	3.4982E-05	34.98196	55	7700	49.51998889	99.03998
M1	83700000	428163.5	0.005115454	3.6539E-05	36.53895	55	7700	49.51998889	99.03998
M2	83700000	585571.2	0.006996072	4.99719E-05	49.97194	61	8540	52.15117662	104.3024
M3	83700000	546230.7	0.006526054	4.66147E-05	46.61467	61	8540	52.15117662	104.3024
M4	83700000	640828.4	0.007656253	5.46875E-05	54.68752	61	8540	52.15117662	104.3024
M5	83700000	477528.7	0.005705241	4.07517E-05	40.75172	61	8540	52.15117662	104.3024

Dari tabel diatas dapat diperoleh gaya tarik kabel yang sebenarnya.

Tabel 4. 32 Gaya kabel sebenarnya (P)

Kabel	A pakai
S ₅	5132.733 kN
S ₄	5711.11 kN
S ₃	6050.93 kN
S ₂	5501.016 kN
S ₁	3986.01 kN
M ₁	4091.401 kN
M ₂	6034.203 kN
M ₃	6861.534 kN
M ₄	6437.283 kN
M ₅	4928.882 kN

4.6.3 Analisa Penampang Kabel

Penampang kabel akan dicek, apabila kabel dengan desain A_{pakai} tersebut mampu untuk menahan gaya kabel sebenarnya (P) , maka penampang kabel memenuhi syarat.

Berikut contoh perhitungannya.

Kabel L5 (kabel 01) :

$$A_{\text{Spakai}} = 8540 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_{ijin} \cdot A_{pakai} \\
 &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 8540 \text{ mm}^2 \\
 &= 7148 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P = 5132.73 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$P_n = 7148 \text{ kN} > P = 5132.73 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Perhitungan kontrol kemampuan kabel dengan penampang actual akibat gaya tarik yang terjadi lainnya dapat dilihat pada **Tabel 4.33** berikut ini.

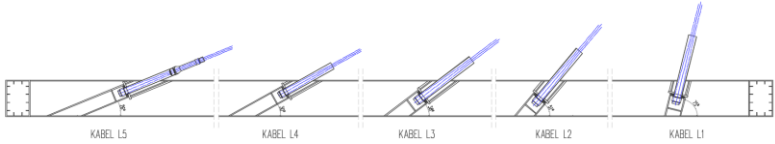
Tabel 4. 33 Kontrol kemampuan kabel dari A_{pakai}

Kabel	f ijin (kg/mm ²)	A pakai (mm ²)	Pn (kg)	Pn (kN)	P (kN)	Kontrol
S5	83700000	8540	714.798	7147.98	5132.733	ok
S4	83700000	8540	714.798	7147.98	5711.11	ok
S3	83700000	8540	714.798	7147.98	6050.93	ok
S2	83700000	8540	714.798	7147.98	5501.016	ok
S1	83700000	7700	644.49	6444.9	3986.01	ok
M1	83700000	7700	644.49	6444.9	4091.401	ok
M2	83700000	8540	714.798	7147.98	6034.203	ok
M3	83700000	8540	714.798	7147.98	6861.534	ok
M4	83700000	8540	714.798	7147.98	6437.283	ok
M5	83700000	8540	714.798	7147.98	4928.882	ok

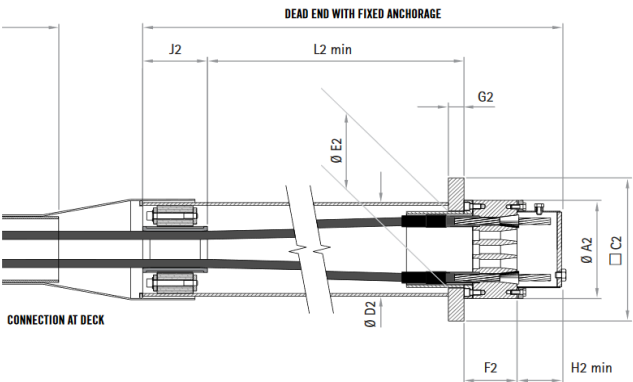
Dari hasil kontrol diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kebutuhan luas penampang dan jumlah strand kabel yang dipakai sudah mampu untuk menahan gaya tarik maksimum yang terjadi.

4.6.4 Perhitungan Anker pada Box

Anker kabel pada gelagar dipasang sesuai dengan jumlah strand kabel yang telah dihitung. Selanjutnya akan dilakukan kontrol tegangan pelat baja pada saat stressing (pemberian gaya tarik).



Gambar 4. 63 Gambar anker pada deck



Gambar 4. 64 Detail anker VSL SSI 2000 untuk deck

Tabel 4. 34 Spesifikasi teknis anker VSL SSI 2000 untuk deck

TENDON UNIT	ØA2 mm	C2 mm	ØD2 mm	ØE2 mm	F2 mm	G2 mm	H2 min mm	J2 mm	L2min mm	ØA3 mm	TENDON UNIT
6-12	185	260	177.8/4.5	150	105	35	105	160	900	125/4.9	6-12
6-19	230	335	219.1/6.3	190	120	50	105	180	1,200	140/5.4	6-19
6-22	250	355	219.1/6.3	205	120	50	105	210	1,350	160/6.2	6-22
6-31	280	415	244.5/6.3	230	145	60	105	210	1,550	160/6.2	6-31
6-37	300	455	273/6.3	255	170	70	105	210	1,750	180/5.6	6-37
6-43	340	505	323.9/7.1	285	175	75	105	210	2,000	200/6.2	6-43
6-55	380	550	323.9/7.1	310	195	75	105	260	2,050	200/6.2	6-55
6-61	380	585	355.6/8	330	215	85	105	260	2,250	225/7.0	6-61
6-73	430	650	406.4/8.8	370	215	95	120	290	2,450	250/7.8	6-73
6-85	430	685	406.4/8.8	370	245	110	120	290	2,600	250/7.8	6-85
6-91	480	730	457/10	420	255	110	120	320	2,800	280/8.7	6-91
6-109	495	775	457/10	420	265	120	120	320	3,000	315/9.8	6-109
6-127	550	845	508/11	475	315	130	120	340	3,350	315/9.8	6-127

Data yang dipakai

Angker	Strand	
	61	55
ΦA2	385	385
C2	600	585

Pelat BJ41

$$f_y = 500 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 250 \text{ Mpa}$$

$$t_f = 60 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan anker digunakan R3 (kabel 08) karena mempunyai gaya paling besar.

Data perencanaan :

$$P = 6861.53 \text{ kN}$$

$$\emptyset A2 = 385 \text{ mm}$$

$$C2 = 600 \text{ mm}$$

$$A_{p'} = C2 \times C2$$

$$= 360000 \text{ mm}^2$$

$$A_p = A_{p'} - (0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset A2)$$

$$= 360000 - (0,25 \cdot \pi \cdot 385)$$

$$= 243643.375 \text{ mm}^2$$

Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

Pelat baja BJ55

$$f_y = 500 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_{yp} = 0,8f_y \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p}} - 0,2$$

$$= 0,8 \times 500 \times \sqrt{\frac{360000}{243643.375}} - 0,2$$

$$= 452.1184657 \text{ Mpa}$$

$$f_{yt} = P / A_p$$

$$= 6861.53 / 243643.375$$

$$= 28.162$$

Kontrol :

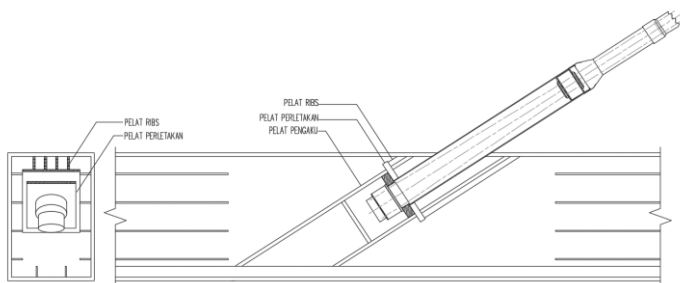
$$f_{yp} = 452.11 \text{ Mpa} > f_{yt} = 28.162 \text{ Mpa} \text{ (OK)}$$

Untuk perhitungan kontrol tegangan anker lain akan disajikan dalam bentuk tabel, dapat dilihat pada **Tabel 4.35**

Tabel 4. 35 Perhitungan angker keseluruhan

Kabel	Anker (kabel)	ΦA2 (mm)	C2 (mm)	P (kN)	Ap' (mm²)	Ap (mm²)	Teg. ljin pelat saat stressing (Mpa)		
							fyp	fyt	Ket
S5	61	385	600	5132.732665	360000	243643.375	452.1185	21.067	ok
S4	61	385	600	5711.109546	360000	243643.375	452.1185	23.440	ok
S3	61	385	600	6050.930438	360000	243643.375	452.1185	24.835	ok
S2	61	385	600	5501.015967	360000	243643.375	452.1185	22.578	ok
S1	55	385	585	3986.010162	342225	225868.375	458.7204	17.647	ok
M1	55	385	585	4091.400696	342225	225868.375	458.7204	18.114	ok
M2	61	385	600	6034.202632	360000	243643.375	452.1185	24.767	ok
M3	61	385	600	6861.533517	360000	243643.375	452.1185	28.162	ok
M4	61	385	600	6437.283183	360000	243643.375	452.1185	26.421	ok
M5	61	385	600	4928.882294	360000	243643.375	452.1185	20.230	ok

Kontrol kemampuan anker dalam menerima gaya tarik (stressing) berikut ilustrasi plat anker pada seluruh titik pengangkeran dapat dilihat pada **Gambar 4.65**



Gambar 4. 65 Pelat anker tendon

Kontrol penampang pelat pada anker, digunakan kabel R3 (kabel 08) karena mempunyai gaya terbesar

1. Kuat lentur pelat sayap
 $\text{SNI03-1729-2002, ps. 8.10.2}$
 $\phi R_b = \phi \cdot 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y$
 $= 7841250 \text{ N}$
 $= 7841,25 \text{ kN}$

2. Kuat leleh pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y$$

dimana :

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

N = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k.

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,85 \cdot (5 \cdot 60 + 585) \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} \cdot 410 \text{ N/mm}^2 \\ &= 17459850 \text{ N} \\ &= 17459,85 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Kuat tekuk dukung pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\begin{aligned}\phi R_b &= 0,39 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \\ &= 19409593,65 \text{ N} \\ &= 19409,59 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kuat tekuk lentur pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.6

$$\begin{aligned}\phi R_b &= \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E \cdot f_y} \\ &= 8033532,013 \text{ N} \\ &= 8033,53 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dari semua perhitungan diatas dipakai nilai ϕR_b yang terkecil sebesar 7841,25 kN

Kontrol :

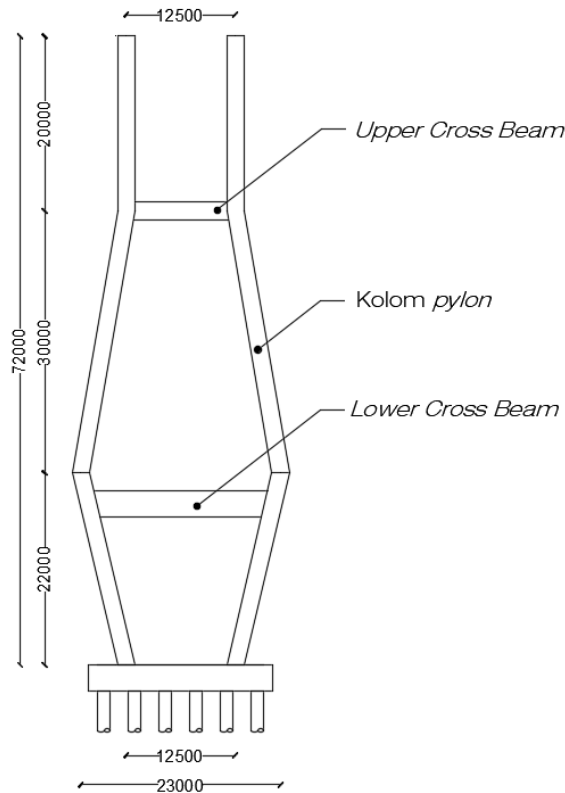
$$\phi R_b = 7841,25 \text{ kN} > P = 6861,53 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

4.7 Struktur Pylon

Struktur *pylon* berfungsi memikul beban yang terjadi pada rantai kendaraan, baik berupa beban hidup maupun beban mati, beban dari rantai kendaraan disalurkan melalui kabel ke *pylon* untuk kemudian ditransfer ke pondasi.

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, berikut adalah bentuk penampang *pylon* yang digunakan. Dimana penampang *pylon* dibagi menjadi 3 bagian, yaitu kolom *pylon*, *lower cross beam* dan *upper cross beam*. Untuk lebih jelasnya lihat

Gambar 4.66



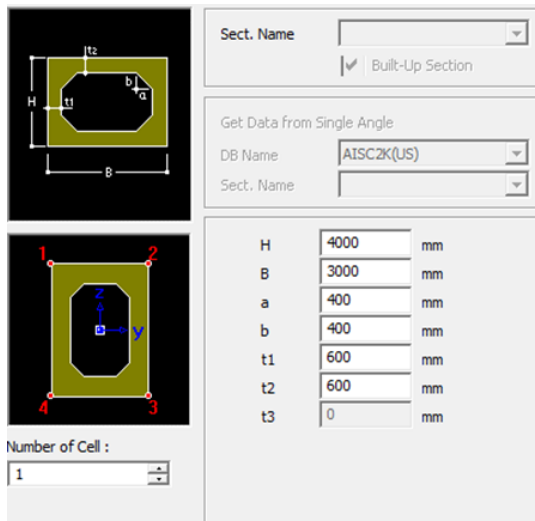
Gambar 4. 66 Penampang Pylon (satuan dalam cm)

4.7.1 Kolom *Pylon*

4.7.1.1 Perencanaan kolom *pylon*

Berikut adalah properti dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat **Gambar 4.67**

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa



Sect. Name	
<input checked="" type="checkbox"/>	Built-Up Section

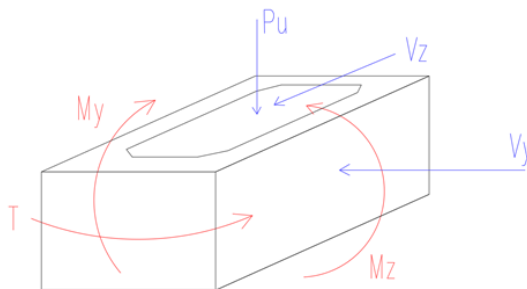
Get Data from Single Angle	
DB Name	AISC2K(US)
Sect. Name	

H	4000	mm
B	3000	mm
a	400	mm
b	400	mm
t1	600	mm
t2	600	mm
t3	0	mm

Number of Cell :

1

Gambar 4. 67 Section properties penampang kolom



Gambar 4. 68 Koordinat kolom *pylon*

4.7.1.1.1 Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$63443,95 < 36400 \quad (\text{Maka tekan diperhitungkan})$$

1. Arah Y (*braced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l_u = panjang bebas komponen tekan (72 m)

r = jari-jari girasi penampang (1,03m)

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil (95741,66 kNm)

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar (112191 kNm)

maka,

$$\frac{1,72}{1,03} \leq 34 - 12 \left(\frac{95741,66}{112191,04} \right) \leq 40$$

$$68,96 \leq 23,75 \leq 40$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma P u \cdot \Delta \alpha}{V u \cdot I} \leq 0,05 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2})$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor (v kN)

$\Delta \alpha$ = simpangan relatif (0,0351 m)

V_{u_y} = gaya geser terfaktor (18559,79 kN)

I_y = inersia (13,22 m⁴)

maka,

$$Q = \frac{63443,95 \times 0,0351}{18559,79 \times 13,22} = 0,01 > 0,05 \text{ (kolom tidak dianggap bergoyang)}$$

- Prosedur perbesaran momen tidak bergoyang

$$EI = \frac{0,4Ec.I}{1+\beta_{dns}} \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.1})$$

Dimana,

$$\beta_{dns} = 0,5 \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10.10.6.2})$$

$$EI = \frac{0,4.33234.10^6.13,22}{1+0,5} = 1,17 \times 10^{10} \text{ kNm}^2$$

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 EI}{(k.l)^2} \quad (\text{SNI 2847-2013 Pers. 10-13}) \\ &= \frac{\pi^2.1,17.10^{10}}{(1,72)^2} \\ &= 222890382,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor perbesaran momen

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75P_c}} \geq 1,0$$

dimana,

$$Cm = 1,0 \text{ (} Cm > 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku lateral)}$$

$$\begin{aligned} \delta_{ns} &= \frac{1}{1 - \frac{64114,15}{0,75.222890382,7}} \\ &= 1,0383679 > 1,0 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Momen desain

$$\begin{aligned} M_c &= \delta_{ns}.Mu \\ &= 1,03 \cdot 38174,29 \text{ kNm} \\ &= 38342,29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Arah Z (*unbraced frame*)

- Cek pengaruh kelangsingan pada struktur tekan

$$\frac{k \cdot l}{r} \leq 22 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.1})$$

Dimana:

k = faktor panjang efektif komponen struktur (1)

l_u = panjang bebas komponen tekan (72 m)

r = jari-jari girasi penampang (1,03m)

maka,

$$\frac{1,72}{1,03} \leq 22$$

$$69,42 \leq 22$$

Penampang langsing (tidak kompak)

- Perbesaran momen

$$Q = \frac{\Sigma Pu \cdot \Delta \alpha}{Vu \cdot I} \leq 0,05 \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps.10.10.5.2})$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor (63443,95 kN)

$\Delta \alpha$ = simpangan relatif (0,0351 m)

V_{u_z} = gaya geser terfaktor (3009,8 kN)

I_z = inersia (7,8 m⁴)

maka,

$$\begin{aligned} Q &= \frac{63443,95 \times 0,0351}{3009,8 \times 7,8} \\ &= 0,09 > 0,05 \quad (\text{kolom dianggap bergoyang}) \end{aligned}$$

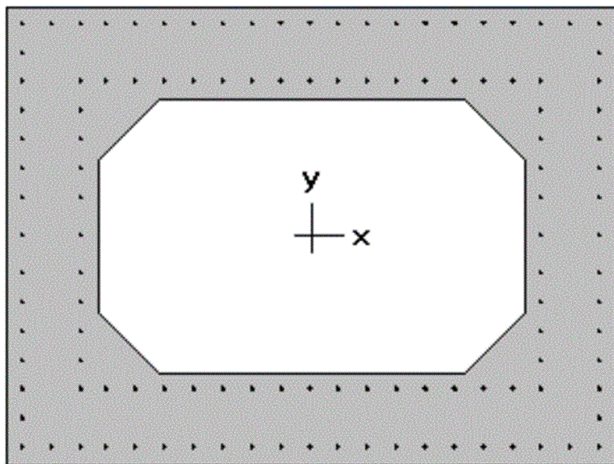
- Prosedur perbesaran momen bergoyang

$$\begin{aligned} \delta_{ns} &= \frac{1}{1-Q} \geq 1,0 \\ &= 1,104 > 1,0 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Momen desain

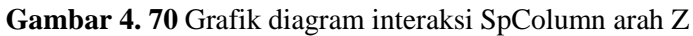
$$\begin{aligned} M_c &= \delta_{ns} \cdot M_u \\ &= 1,104 \cdot 112191,04 \text{ kNm} \\ &= 123898,32 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.68**



4000 × 3000 mm
1.76% reinf.

Gambar 4. 69 Desain penampang dan tulangan longitudinal pylon pada program bantu spColumn



120 buah D36 (1,76 %)

$$A_s = 122083,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1} \\
 &= \frac{4000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 42 \cdot 36}{17 - 1} \\
 &= 200,25 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1} \\
 &= \frac{3000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 30 \cdot 40}{13 - 1} \\
 &= 195 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan lentur 120D36-200

4.7.1.1.2 Penulangan geser

1. Arah Y (*braced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial (SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c} b d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{6,3 \times 10^{10}}{7,2 \times 10^{12}} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 2908 \cdot 3908 \\
 &= 13669605,89 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 13669605,89 \\
 &= 11619165,01 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 11619 \text{ kN} > V_{uy} = 18562 \text{ kN} \text{ (Not OK)}$$

Maka perlu tulangan geser

• Perhitungan tulangan geser

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \phi V_n \\
 V_u &\leq \phi V_c + \phi V_s \\
 V_s &= V_u / \phi - V_c \\
 &= 18559,79 / 0,85 - 11619 \\
 &= 10215,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Desain tulangan geser

$$\begin{aligned}
 f_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 D &= 22 \text{ mm} \\
 n &= 2 \\
 h_{\text{eff}} &= 3908 \text{ mm} \\
 \text{maka,} \\
 A_v &= n \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot d^2 \\
 &= 2 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 22^2 \\
 &= 759,88 \text{ mm}^2 \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{759,88 \cdot 400 \cdot 3908}{10215,95} \\
 &= 116,27 \text{ mm} \\
 &= 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan

Syarat jarak tulangan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- $8D \text{ lentur} = 8 \cdot 36 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$
- $24D \text{ sengkang} = 24 \cdot 22 \text{ mm} = 528 \text{ mm}$
- $\frac{1}{2} \text{ dimensi kolom terkecil} = 2500/2 = 1250 \text{ mm}$
- 300 mm

Diambil spasi terkecil yaitu 288 mm

Kontrol :

$$s_{\text{maks}} = 288 \text{ mm} > s = 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan sengkang 2D22-120

2. Arah Z (*unbraced frame*)

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai tekan aksial

SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.2

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{6,4 \times 10^{10}}{7,2 \times 10^{12}} \right) 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 2908 \cdot 3908 \\ &= 13669605,89 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,85 \cdot 13669605,89 \\ &= 11619165,01 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 11619 \text{ kN} > V_{u_y} = 3010 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f'c} \frac{bw \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{3000 \cdot 300}{400} \\ &= 917,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 3000 \cdot 288) / 400 = 732,816 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 917,91 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot bw \cdot s) / f_y = 732,816 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka dipasang sengkang 2D22-288 dengan $A_s = 917,91 \text{ mm}^2$

4.7.1.1.3 Penulangan torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 7280000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4000+3000) = 14000 \text{ mm}$$

Maka,

$$T_u = 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{7280000^2}{14000} \right)$$

$$= 1888,49 \text{ kNm}$$

$$T_n = 0,85 \times 1888,49$$

$$= 1,605 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$T = 20023 \text{ kNm} < T_n = 1605 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$T_n = T_u / \phi$$

$$= 20023 / 0,85$$

$$= 23555,94 \text{ kNm}$$

$$A_o = 0,85 A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot (2838 \times 3838)$$

$$= 9258407,4 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$A_t/s = \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$= \frac{23555941176}{2 \cdot 9258407,4 \cdot 400 \cdot \cot 45}$$

$$= 3,18 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7})$$

$$= 3,18 \cdot (2 \cdot (2878 + 3878)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45$$

$$= 42463,96 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_l / A_s$$

$$= 41,73$$

$$= 42 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 42D36-300

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o.A_t.f_y}{s} \cdot \cot\theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n \cdot s}{2.A_o.f_y \cot\theta}$$

$$= 954,1$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D25

$$n = 2$$

$$A_s = 2.0.25\pi D^2$$

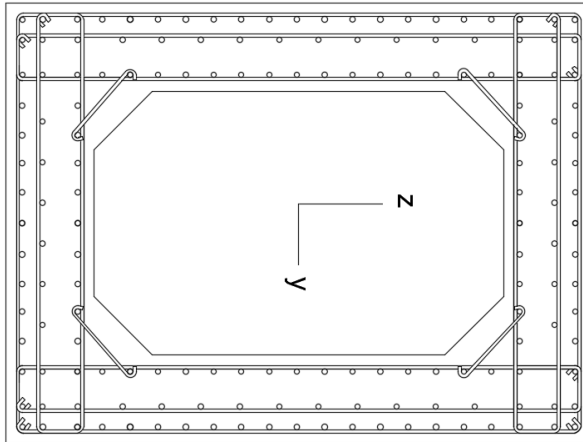
$$= 981,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s = 981,25 \text{ mm}^2 < A_t = 954,1 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dipakai tulangan torsi transversal 2D25-300 dengan $A_s = 981,25 \text{ mm}^2$

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.72**



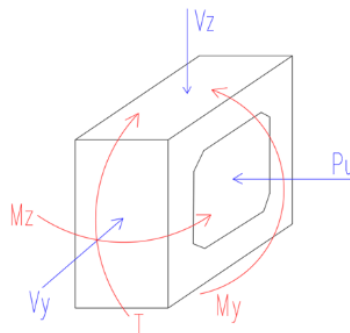
Gambar 4. 72 Desain penulangan kolom *pylon*

4.7.2 *Upper cross beam*

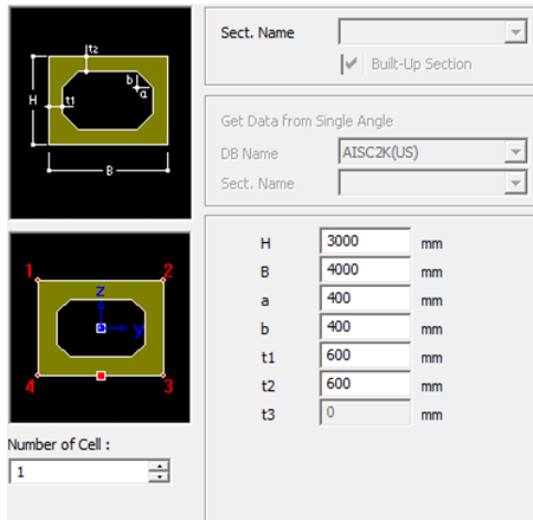
4.7.2.1 Perencanaan *Upper cross beam*

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 10.2

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4. 73 Koordinat *Upper cross beam*



Sect. Name

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name

Sect. Name

H	3000	mm
B	4000	mm
a	400	mm
b	400	mm
t1	600	mm
t2	600	mm
t3	0	mm

Number of Cell :

Gambar 4. 74 Section properties penampang *Upper cross beam*

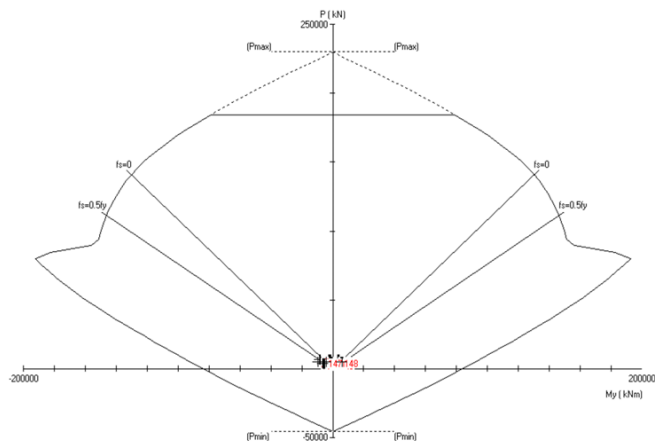
4.7.2.1.1 Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10.f_c.A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

$$6696,69 < 36400 \quad (\text{Maka tekan diabaikan})$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.74**



Gambar 4. 77 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X

Dari hasil analisa didapat :

124 buah D36 (1,73 %)

$$A_s = 126152,64 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1} \\
 &= \frac{4000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 21 \cdot 36}{21 - 1} \\
 &= 153 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1} \\
 &= \frac{3000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 16 \cdot 36}{16 - 1} \\
 &= 150 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan lentur 124D36-150

4.7.2.1.2 Penulangan geser

1. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 2908 \cdot 3908 \\ &= 4179173,162 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85 \cdot 4179173,162 \\ &= 3552297,188 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 3552 \text{ kN} > V_{u_y} = 566 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

Maka tidak perlu tulangan geser

Digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{bw.s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{4000 \cdot 288}{400} \\ &= 1227,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot bw.s)/f_y = (0,35 \cdot 4000 \cdot 288) / 400 = 980,28 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 1227,88 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot bw.s)/f_y = 980,28 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka dipasang sengkang 2D22-288 dengan $A_s = 1227,88 \text{ mm}^2$

2. Arah Z

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b d \\ &= 0,17.1.\sqrt{50}.3908.2908 \\ &= 6334441,996 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85.6334441,996 \\ &= 5384275,697 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 5384 \text{ kN} > V_{u_z} = 3291 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

Maka tidak perlu tulangan geser

Digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062.\sqrt{f_c'}\frac{bw.s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062.\sqrt{50}.\frac{4000.288}{400} \\ &= 1227,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35.bw.s)/f_y = (0,35.4000.288) / 400 = 980,28 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 1227,88 \text{ mm}^2 > (0,35.bw.s)/f_y = 980,28 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang sengkang 2D22-288 dengan $A_s = 1227,88 \text{ mm}^2$

4.7.2.1.3 Penulangan torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 7280000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4000+3000) = 14000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{7280000^2}{14000} \right) \\ &= 2221,76 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,85 \times 1888,49 \\ &= 1,884 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 3373 \text{ kNm} < T_n = 1888,4 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned} T_n &= T_u / \phi \\ &= 4474 / 0,85 \\ &= 5263,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot (2838 \cdot 3838) \\ &= 10892244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}{5263200,} \\ &= \frac{2 \cdot 10892244 \cdot 400 \cdot \cot 45}{5263200,} \\ &= 0,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \cdot Ph \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7}) \\ &= 0,71 \cdot (2 \cdot (2878 + 3878)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\ &= 9487,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_I / A_s$$

$$= 10 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 10D36-300

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o.A_t.f_y}{s} \cdot \cot\theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n \cdot s}{2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot\theta}$$

$$= 149.06$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$n = 1$$

$$A_s = 1.0.25\pi D^2$$

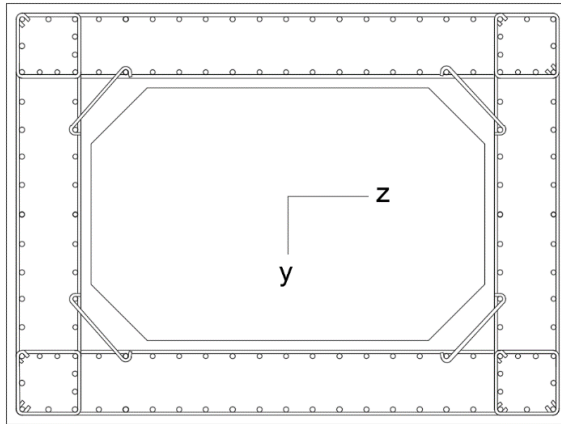
$$= 379,94$$

Kontrol :

$$A_s = 379,94 \text{ mm}^2 < A_t = 149.06 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dipakai tulangan torsi transversal D22-300 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.78**



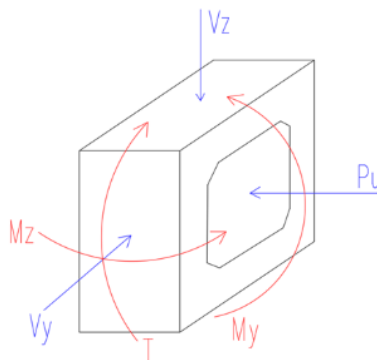
Gambar 4. 78 Desain penulangan *Upper cross beam*

4.7.3 *Lower cross beam*

4.7.3.1 Perencanaan *Lower cross beam*

Berikut adalah properti dari penampang kolom yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 10.2

- Mutu beton (f_c') = 50 MPa
- Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa.



Gambar 4. 79 Koordinat *Lower cross beam*

Number of Cell : 1

H	3000	mm
B	4000	mm
a	400	mm
b	400	mm
t1	600	mm
t2	600	mm
t3	0	mm

Gambar 4. 80 Section properties penampang *Lower cross beam*

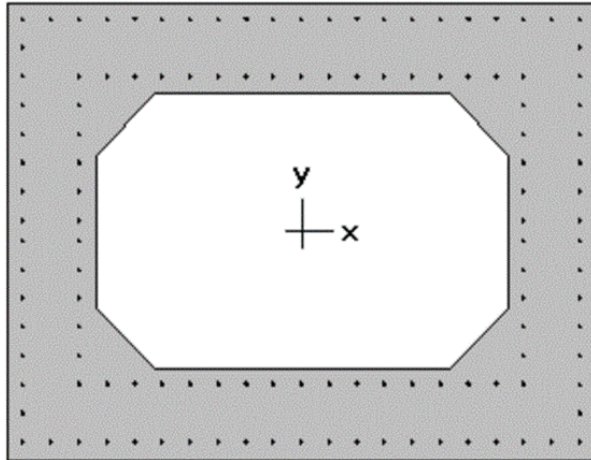
4.7.3.1.1 Penulangan lentur

Struktur komponen yang mengalami tekan dapat diabaikan bila gaya tekan yang terjadi kurang dari :

$$P_u < 0,10 \cdot f_c \cdot A_g \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 10})$$

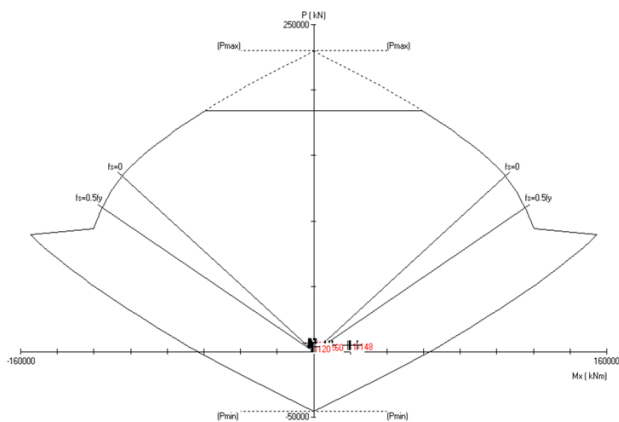
$$21314,55 < 36400 \quad (\text{Maka tekan diabaikan})$$

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D36 dan tulangan transversal menggunakan D22. Kemudian kebutuhan tulangan akan direncanakan dan dianalisa menggunakan *spColumn*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.80**

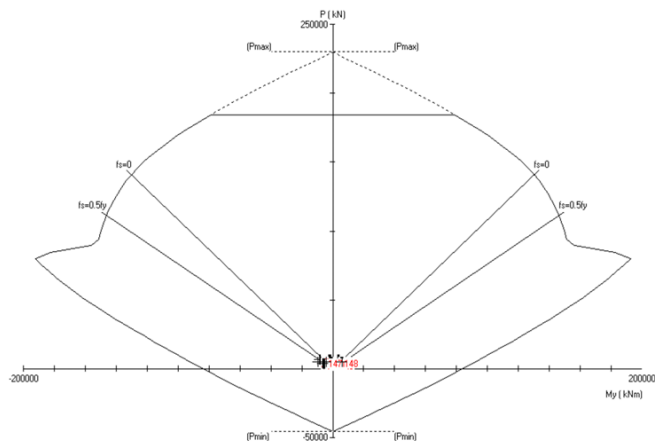


4000 × 3000 mm
1.73% reinf.

Gambar 4. 81 Desain penampang dan tulangan longitudinal balok pada program bantu spColumn



Gambar 4. 82 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X



Gambar 4. 83 Grafik diagram interaksi SpColumn arah X

Dari hasil analisa didapat :

124 buah D36 (1,73 %)

$A_s = 126152,64 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak antar tulangan x

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{4000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 21 \cdot 36}{21 - 1}$$

$$= 153 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol jarak antar tulangan y

$$s = \frac{b - 2 \cdot \text{cover} - 2 \cdot \phi - n \cdot D}{n - 1}$$

$$= \frac{3000 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 22 - 16 \cdot 36}{16 - 1}$$

$$= 150 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Dipakai tulangan lentur 124D36-155

4.7.3.1.2 Penulangan geser

1. Arah Y

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot 2908 \cdot 3908 \\ &= 4179173,162 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85 \cdot 4179173,162 \\ &= 3552297,188 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 3552 \text{ kN} > V_{u_y} = 182 \text{ kN} \quad (\mathbf{OK})$$

Maka tidak perlu tulangan geser

Digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b w \cdot s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062 \cdot \sqrt{50} \cdot \frac{4000 \cdot 288}{400} \\ &= 1227,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35 \cdot b w \cdot s) / f_y = (0,35 \cdot 4000 \cdot 288) / 400 = 980,28 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{v_{\min}} = 1227,88 \text{ mm}^2 > (0,35 \cdot b w \cdot s) / f_y = 980,28 \text{ mm}^2 \quad (\mathbf{OK})$$

Maka dipasang sengkang 2D22-288 dengan $A_s = 1227,88 \text{ mm}^2$

2. Arah Z

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur

- Komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja
SNI 2847-2013 Ps. 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b d \\ &= 0,17.1.\sqrt{50}.3908.2908 \\ &= 6334441,996 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85. 6334441,996 \\ &= 5384275,697 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_c = 5384 \text{ kN} > V_{u_z} = 3891 \text{ kN} \text{ (not OK)}$$

Maka tidak perlu tulangan geser

Digunakan tulangan geser minimum

- Perhitungan tulangan geser

Syarat spasi sengkang berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps. 21.3.4.2)

- 8D lentur = 8.36 mm = 288 mm
- 24D sengkang = 24.22mm = 528 mm
- ½ dimensi kolom terkecil = 3000/2 = 1500 mm
- 300 mm

Digunakan tulangan geser minimum dengan spasi 288 mm

$$\begin{aligned} A_{V_{\min}} &= 0,062. \sqrt{f_c'} \frac{b_w.s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.4.6.3}) \\ &= 0,062. \sqrt{50}. \frac{4000.288}{400} \\ &= 1227,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Namun tidak kurang dari,

$$(0,35.b_w.s)/f_y = (0,35.4000.288) / 400 = 980,28 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{V_{\min}} = 1227,88 \text{ mm}^2 > (0,35.b_w.s)/f_y = 980,28 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka dipasang sengkang 2D22-288 dengan $A_s = 1227,88 \text{ mm}^2$

4.7.3.1.3 Penulangan torsi

Desain tulangan torsi

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847-2013 Ps. 11.5})$$

$$A_{cp} = 7280000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(4000+3000) = 14000 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} T_u &= 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{50} \left(\frac{7280000^2}{14000} \right) \\ &= 2221,76 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 0,85 \times 2221,76 \\ &= 1,888 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T = 2877 \text{ kNm} < T_n = 1888 \text{ kNm} \quad (\text{Not OK})$$

Perlu tulangan torsi

Perhitungan tulangan torsi (SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.6)

$$\begin{aligned} T_n &= T_u / \phi \\ &= 2877 / 0,85 \\ &= 3384,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot (2838 \cdot 3838) \\ &= 9258407,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{2A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{3384,5}{2 \cdot 9258407,4 \cdot 400 \cdot \cot 45} \\ &= 0,456 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan untuk menahan puntir

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yl}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 11.5.3.7}) \\ &= 0,456 \cdot (2 \cdot (2878 + 3878)) \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\ &= 6101,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D36

$$A_s = 0.25\pi D^2$$

$$= 1017,36$$

$$n = A_I / A_s$$

$$= 10 \text{ buah}$$

Dipakai tulangan torsi longitudinal 6D36-300

Tulangan transversal tambahan untuk menahan puntir

$$T_n = \frac{2A_o.A_t.f_y}{s} \cdot \cot\theta \text{ maka}$$

$$A_t = \frac{T_n.s}{2.A_o.f_{yt}.\cot\theta}$$

$$= 95,85$$

Syarat spasi torsi berdasarkan (SNI 2847 2013 Ps 11.5.6)

$$s < ph / 8 = 1669 \text{ mm}$$

$$s < 300 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan spasi tulangan torsi 300 mm

Dipakai D22

$$n = 1$$

$$A_s = 1.0.25\pi D^2$$

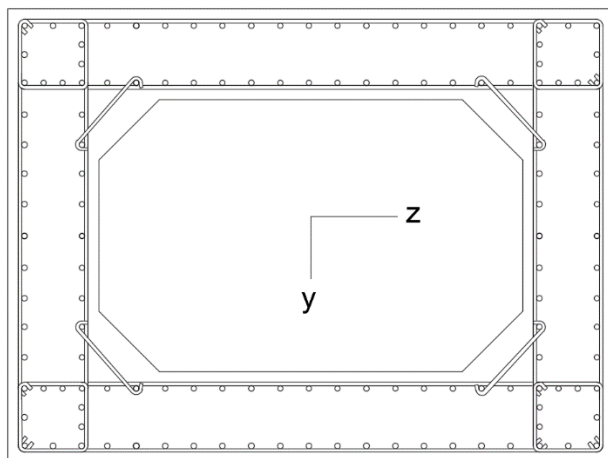
$$= 379,94$$

Kontrol :

$$A_s = 379,94 \text{ mm}^2 < A_t = 95,85 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dipakai tulangan torsi transversal D22-300 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

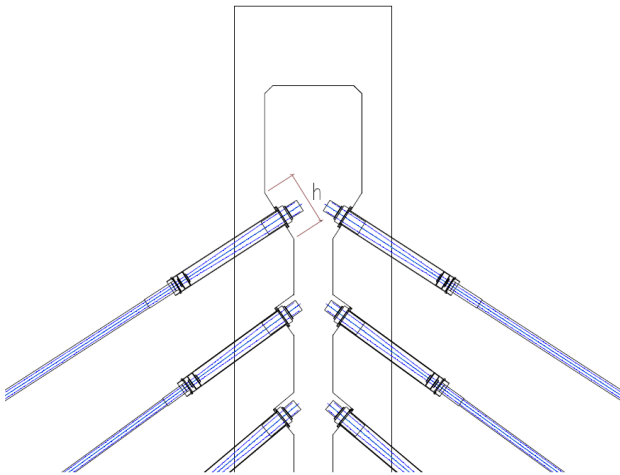
Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.84**



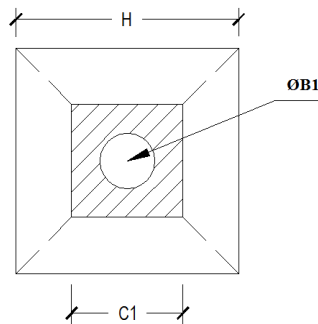
Gambar 4. 84 Desain penulangan *Lower cross beam*

4.7.4 Perhitungan Angkur pada *Pylon*

Angkur kabel dipasang sesuai jumlah strand dan gaya stressing nya yang telah dihitung. Pada daerah pengangkuran perlu disediakan tulangan untuk menahan pecaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar lokasi pengangkuran tidak hancur atau angkur tertarik kedalam beton saat kabel dilakukan stressing.



Gambar 4. 85 Daerah angkur pada *pylon*

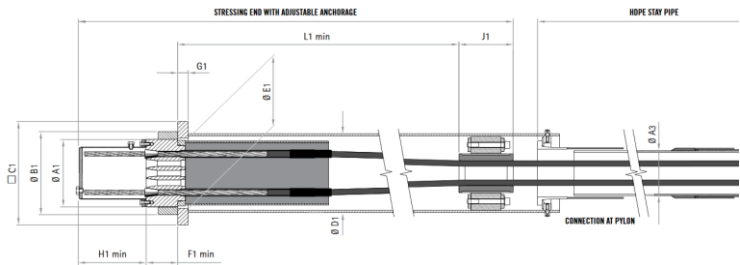


Gambar 4. 86 Dimensi angkur

Berikut adalah nilai gaya tarik dan detail serta spesifikasi angker yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 10.1 dan Tabel 10.2 serta Gambar 10.5 dan Gambar 10.6..

Tabel 4. 36 Hasil analisa gaya tarik dari Aaktual

Kabel	Pretension
S5	4622.005 kN
S4	3426.662 kN
S3	3297.156 kN
S2	2519.627 kN
S1	1846.252 kN
M1	1737.012 kN
M2	2603.771 kN
M3	3577.88 kN
M4	4485.306 kN
M5	3254.932 kN



Gambar 4. 87 Detail angker VSL SSI 2000

Tabel 4. 37 Spesifikasi angker VSL SSI 2000

TENDON UNIT	Number of strands n	Minimum breaking load kN	Force at 45% kN	Transverse force kN	TENDON UNIT	Ø A1 mm	Ø B1 mm	C1 mm	Ø D1 mm	Ø E1 mm	F1 min mm	G1 mm	H1 min mm	J1 mm	L1 min mm
6-12	12	3,348	1,507	50	6-12	190	230	290	219.1/6.3	196	85	30	235	160	1,500
6-19	19	5,301	2,385	80	6-19	235	285	355	267/6.3	241	100	35	245	180	1,750
6-22	22	6,138	2,762	90	6-22	255	310	385	298.5/7.1	261	110	40	245	210	1,900
6-31	31	8,649	3,892	130	6-31	285	350	440	323.9/7.1	291	130	45	275	210	2,100
6-37	37	10,323	4,645	150	6-37	310	380	485	355.6/8.0	316	140	50	295	210	2,300
6-43	43	11,997	5,399	180	6-43	350	425	540	406.4/8.8	356	145	55	305	210	2,550
6-55	55	15,345	6,905	230	6-55	385	470	585	419/10	391	165	60	325	260	2,650
6-61	61	17,019	7,659	250	6-61	385	470	600	419/10	391	180	65	345	260	2,850
6-73	73	20,367	9,165	300	6-73	440	530	680	508/11	446	180	75	345	290	3,050
6-85	85	23,715	10,672	350	6-85	440	540	710	508/11	446	210	80	375	290	3,150
6-91	91	25,389	11,425	375	6-91	490	590	760	559/12.5	496	195	80	385	320	3,400
6-109	109	30,411	13,685	450	6-109	505	610	795	559/12.5	511	215	90	400	320	3,550
6-127	127	35,433	15,945	525	6-127	560	670	865	610/12.5	566	255	95	410	340	3,950

4.7.4.1 Kontrol Tegangan Beton saat *Stressing*

Perhitungan anker kabel dicontohkan dengan kabel L5 (kabel 01)

$$T = 5132,73 \text{ kN}$$

$$C_1 = 600 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$f_c = 50 \text{ Mpa}$$

$$A_2 = h \cdot x \cdot h \\ = 490000 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing B1 = 470 \text{ mm}$$

$$A_1 = (C_1 \times C_1) - \varnothing B1 \\ = 359530 \text{ mm}^2$$

Pemberian gaya tarik dilakukan pada saat beton berusia 14 hari dengan kuat tekan beton diperkirakan 85% f_c'

$$f_{ci} = 85\% \times 50 \text{ Mpa} \\ = 42,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1} - 0,2} \\ = 0,8 \cdot 42,5 \cdot \sqrt{\frac{490000}{359530} - 0,2} \\ = 36,63 \text{ MPa}$$

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa}$$

Kontrol :

$$1,25f_{ci} = 53,13 \text{ Mpa} > f_{cp} = 36,63 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Tegangan di bawah plat anker

$$f_t = T / A_1 \\ = 5132732,66 / 359530 \\ = 14,25 \text{ MPa}$$

Kontrol :

$$f_t = 14,25 \text{ Mpa} < f_{cp} = 50,08 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Untuk kontrol angkur kabel lain dapat dilihat pada **Tabel 4.38**

Tabel 4. 38 Kontrol tegangan beton saat stressing pada kabel di pylon

Kabel	$1,25f_{ci}$ (Mpa)	f_{cp} (Mpa)	f_t (Mpa)	Kontrol
S5	53.125	50.085	14.276	OK
S4	53.125	50.085	15.885	OK
S3	53.125	50.085	16.830	OK
S2	53.125	50.085	15.301	OK
S1	53.125	46.803	11.663	OK
M1	53.125	46.803	11.972	OK
M2	53.125	50.085	16.784	OK
M3	53.125	50.085	19.085	OK
M4	53.125	50.085	17.905	OK
M5	53.125	50.085	13.709	OK

4.7.4.2 Perhitungan tulangan pada daerah pengakaran

1. Akibat pancaran (*bursting*)

$$T_{\text{pencar}} = 0,25T \quad (\text{SNI 2847 2013 Ps 18.13.3.3})$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{pencar}} &= 0,25 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right) \\
 &= 0,25 \cdot 5132,73 \cdot \left(1 - \frac{600}{700}\right) \\
 &= 183,31 \text{ kN} \\
 d_{\text{pencar}} &= 0,5(h-2e) \\
 &= 0,5 \cdot (700 - 0) \\
 &= 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan sengkang penutup D22 dengan $A_s = 379,94 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= T_{\text{pencar}} / f_y \\
 &= 183311,8 / 400 \\
 &= 458,27 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s\text{perlu}} / A_{s\text{pakai}} \\
 &= 458,27 / 379,94 \\
 &= 1,2 \\
 &= 2 \text{ sengkang dekat ujung angkur}
 \end{aligned}$$

Spasi antar sengkang

$$\begin{aligned}
 s &= d_{\text{pencar}} / n \\
 &= 350 / 2 \\
 &= 175 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang sengkang 2D22-175

2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 2%T

$$\begin{aligned} 2\%T &= 2\% \cdot 5132,73 \text{ kN} \\ &= 1026,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= 2\%T / f_y \\ &= 1026,54 / 400 \\ &= 2566,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD12 dengan $A_s = 113,04 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= A_{\text{Sperlu}} / A_{\text{Spakai}} \\ &= 256,636 / 113,04 \\ &= 2,27 \\ &= 3 \text{ buah tulangan U} \end{aligned}$$

Untuk kebutuhan Tulangan pada daerah kabel yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.39**

Tabel 4. 39 Kebutuhan Tulangan Daerah Pengankuran

Kabel	Anker	(ØA2)	P	<i>Bursting</i>			<i>Spalling</i>		
		(mm)	(kN)	T pecar	Asperlu	n	Tspalling	Asperlu	n
S5	61	600	5132.733	183311.881	458.280	2	102654.65	256.64	3
S4	61	600	5711.110	203968.198	509.920	2	114222.19	285.56	3
S3	61	600	6050.930	216104.659	540.262	2	121018.61	302.55	3
S2	61	600	5501.016	196464.856	491.162	2	110020.32	275.05	3
S1	55	585	3986.010	63776.163	159.440	1	79720.20	199.30	2
M1	55	585	4091.401	65462.411	163.656	1	81828.01	204.57	2
M2	61	600	6034.203	215507.237	538.768	2	120684.05	301.71	3
M3	61	600	6861.534	245054.768	612.637	2	137230.67	343.08	4
M4	61	600	6437.283	229902.971	574.757	2	128745.66	321.86	3
M5	61	600	4928.882	176031.511	440.079	2	98577.65	246.44	3

4.8 Perilaku Dinamis

Pada jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan cable stayed perlu dilakukan, analisa stabilitas pada desain ini meliputi vortex-shedding (tumpahan pusaran angin) dan flutter (efek ayunan).

4.8.1 Frekuensi Alami

Frekuensi alami yang dihitung adalah frekuensi lentur (f_B) dan frekuensi torsi (f_T) yang didekati dengan persamaan berikut :

- $$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{maks}} \right)^{1/2}$$

Dimana :

f_B = frekuensi alami lentur

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

v_{maks} = deformasi statis struktur (0,927 m dari MIDAS)

Maka,

$$\begin{aligned} f_B &= \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{9,81}{0,9274} \right)^{1/2} \\ &= 0,902 \text{ Hz} \end{aligned}$$

- $$f_T = \frac{b}{2r} f_B$$

Dimana,

f_T = frekuensi alami torsi

b = jarak kabel arah melintang (12,5 m)

r = jari-jari grasi penampang lantai kendaraan

Mencari jari jari girasi penampang (r)

Diketahui :

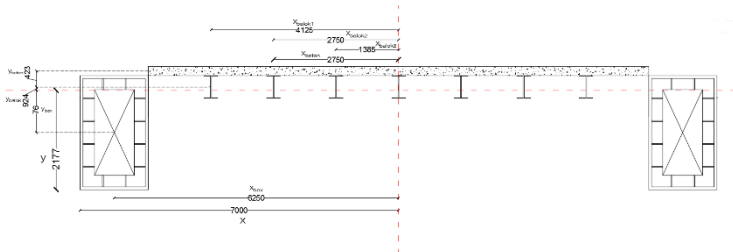
Titik berat penampang

X = 7,00 dari kiri

Y = 2,178 dari bawah

Menghitung jari jari girasi

$A_{box} = 0,505 \text{ m}^2$	$y_{box} = 0,924 \text{ m}$
$A_{balok} = 0,01201 \text{ m}^2$	$y_{balok} = 0,076 \text{ m}$
$A_{beton} = 2,2 \text{ m}^2$	$y_{beton} = 0,423 \text{ m}$
$I_{x_{box}} = 0,4035 \text{ m}^4$	$x_{box} = 6,25 \text{ m}$
$I_{x_{balok}} = 0,00033 \text{ m}^4$	$x_{balok1} = 4,125 \text{ m}$
$I_{x_{beton}} = 0,00733 \text{ m}^4$	$x_{balok2} = 2,75 \text{ m}$
$I_{y_{box}} = 0,193 \text{ m}^4$	$x_{balok3} = 1,375 \text{ m}$
$I_{y_{balok}} = 0,0000624 \text{ m}^4$	$x_{balok4} = 0$
$I_{y_{beton}} = 22,183 \text{ m}^4$	$x_{beton} = 2,75 \text{ m}$



Gambar 4. 88 Titik berat deck

$$r_x = \sqrt{\frac{(2.I_{x_{box}} + 2.A.y_{box}^2) + (7.I_{x_{balok}} + A.y_{balok}^2) + (I_{x_{beton}} + A.y_{beton})}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= 3,09 \text{ m}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{(2.I_{y_{box}} + 2.A.x_{box}^2) + (2.I_{y_{balok}} + A.x_{balok1}^2) + (2.I_{y_{balok}} + A.x_{balok2}^2) + \dots}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= \sqrt{\frac{\dots + (2.I_{y_{balok}} + A.x_{balok3}^2) + (I_{y_{beton}} + A.x_{beton})}{(2.A_{box} + 7.A_{balok} + A_{beton})}}$$

$$= 4,90 \text{ m}$$

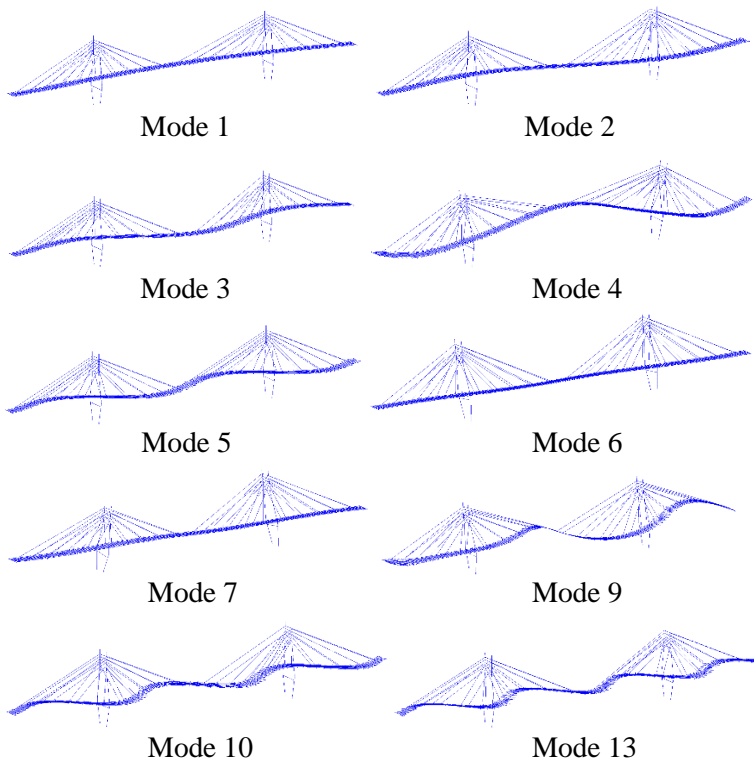
Digunakan $r = 3,09 \text{ m}$

maka,

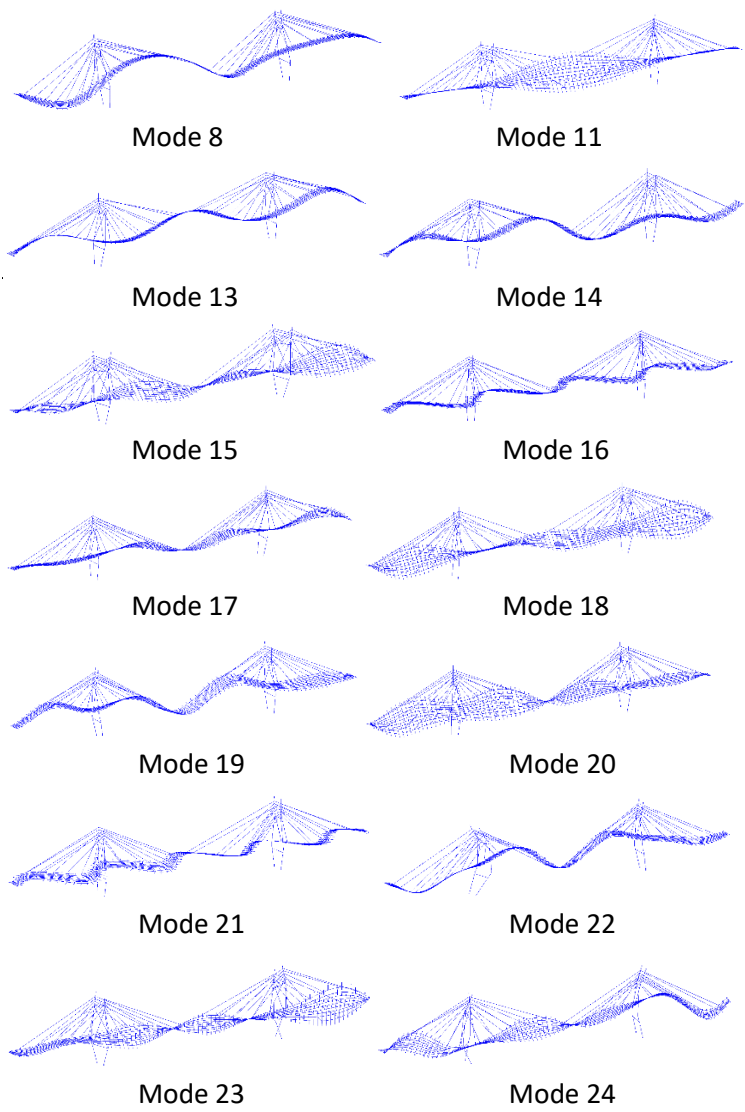
$$f_T = \frac{12,5}{2,0,902} \cdot 3,09$$

$$= 1,82 \text{ Hz}$$

Dengan program bantu MIDAS CIVIL nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) dapat dicari dengan menggunakan modal melalui tahapan mode pada menu result vibration mode shapes. Berikut adalah nilai frekwensi alami lentur balok (f_B) dan frekwensi alami torsi (f_T) yang didapat dari program bantu MIDAS CIVIL.



Gambar 4. 89 Mode frekuensi lentur f_B

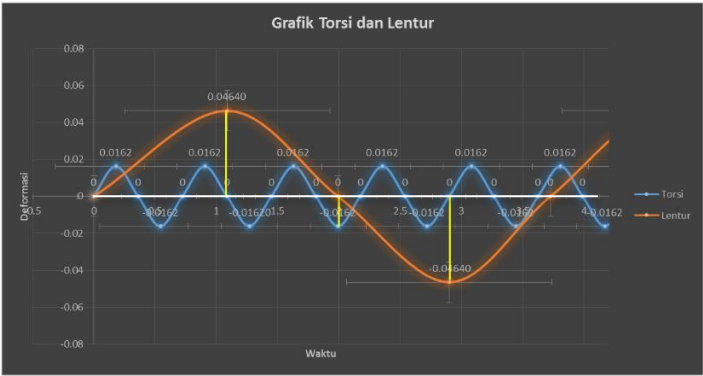


Gambar 4. 90 Mode frekuensi torsi f_T

Berikut rekapitulasi nilai frekwensi lentur (f_B) maupun frekwensi torsi (f_T) dari hasil analisa menggunakan program MIDAS CIVIL

Tabel 4. 40 Nilai f_B dan f_T

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Mode
1	1.645332	0.2618627	3.81879481	Lentur
2	2.018719	0.3212891	3.11246157	Lentur
3	2.699263	0.429601	2.327741	Lentur
4	3.433318	0.54643	1.830062	Lentur
5	4.059096	0.646025	1.547927	Lentur
6	5.394234	0.858519	1.164797	Lentur
7	5.711212	0.908968	1.100149	Lentur
8	5.795673	0.92241	1.084117	Torsi
9	5.796579	0.922554	1.083947	Lentur
10	7.672241	1.221075	0.81895	Lentur
11	8.048175	1.280907	0.780697	Torsi
12	9.252064	1.472512	0.679112	Torsi
13	9.942676	1.582426	0.631941	Lentur
14	10.222359	1.626939	0.614651	Torsi
15	11.501176	1.830469	0.546308	Torsi
16	12.530326	1.994263	0.501438	Torsi
17	13.374327	2.12859	0.469795	Torsi
18	13.911666	2.21411	0.451649	Torsi
19	15.191039	2.417729	0.413611	Torsi
20	15.431231	2.455957	0.407173	Torsi
21	15.530471	2.471751	0.404571	Torsi
22	16.732832	2.663113	0.3755	Torsi
23	16.914516	2.692029	0.371467	Torsi
24	18.559218	2.953791	0.338548	Torsi



Gambar 4. 91 Grafik f_B dan f_T

4.8.2 Efek Pusaran Angin (*Vortex-Shedding*)

Pada kecepatan angin tertentu akan terjadi turbulensi atau pusaran angin (*Vortex-Shedding*). Untuk mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan :

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2} - 7.11)$$

Dimana :

f_B = frekuensi alami lentur

h = tinggi lantai kendaraan

S = angka strouhal

- 0,20 untuk silinder dengan diameter h

- 0,10-0,20 untuk lantai kendaraan dengan tinggi h

- 0,10 jika udara mengalir pada satu sisi

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal (m/s)

Kecepatan angin (V) dicari dengan menggunakan persamaan angka Strouhal. Digunakan angka Strouhal (s) = 0,2, tinggi lantai kendaraan (h) = 2,5 m maka,

$$\begin{aligned} V &= \frac{f_B \cdot h}{S} \\ &= \frac{3,09 \cdot 2.5}{0,2} \\ &= 11.27 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan cek efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Besarnya angka Reynold harus memenuhi persyaratan, nilai Re harus berkisar antara 105 – 107 akibat kecepatan angin yang bekerja. Berikut persamaan untuk angka

$$\text{Reynold. } R_e = \frac{V \cdot B}{\bar{v}}$$

Dimana :

Re = nilai Reynold

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

B = lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$ = viskositas kinematik udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{detik}$)

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{V.B}{\bar{\nu}} \\ &= \frac{11.27.17}{0,15 \times 10^{-4}} \\ &= 1,27 \times 10^7 \end{aligned}$$

Akibat terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (uplift) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_o = \rho \frac{V^2}{2} C \times h \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 - 7.13})$$

Dimana :

F_o = Gaya angkat

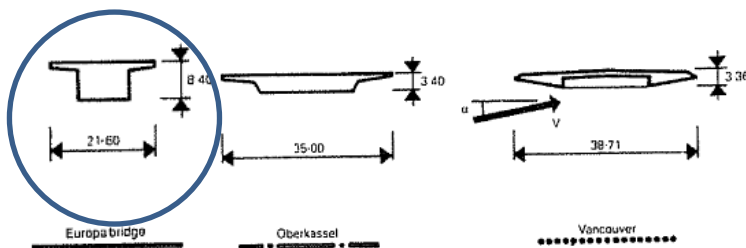
ρ = Density / kerapatan udara = $1,3 \text{ kg/m}^3$

V = kecepatan angin berdasarkan angka strouhal

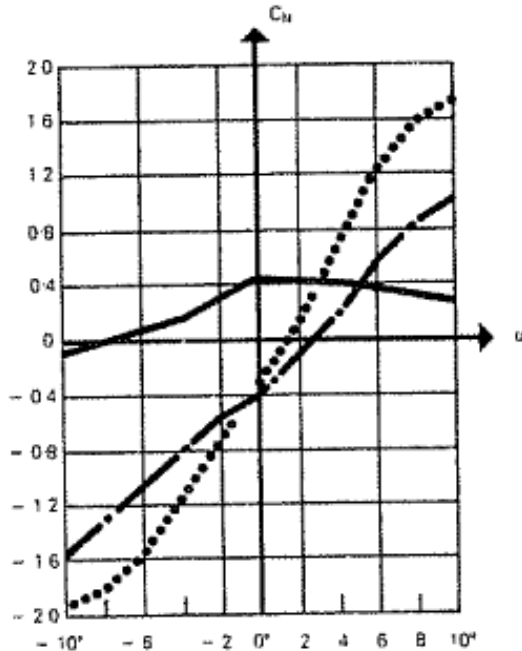
C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan

h = Tinggi lantai kendaraan

besarnya nilai koefisien C dapat dicari dari grafik berikut ini, lihat **Gambar 4.92** dan **Gambar 4.93** :



Gambar 4. 92 Macam penampang deck



Gambar 4. 93 Koefisien C_N

Grafik koefisien C_N diatas merupakan hasil dari tiga bentuk penampang lantai kendaraan yang pernah dibangun. Berdasarkan desain penampang jembatan cable-stayed ini, penampang pertama cukup mewakili bentuk penampang lantai kendaraan yang didesain. Dengan α diambil sebesar 0° , maka akan didapat nilai koefisien C_N sebesar 0,4. Tetapi pada nyatanya, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna. Nilai α dapat berubah berkisar antara 3° sampai dengan 9° , maka sebagai pembanding diambil nilai α rata-rata sebesar 6° . Sehingga didapat nilai C_N sebesar 0,38

$$F_o = 1,3 \cdot 10 \cdot \frac{11,27^2}{2} \cdot 0,38 \cdot (2,5) = 78.49 \frac{N}{m}$$

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \frac{F_o}{m} v_{\max}$$

Dimana :

\hat{v} = Amplitudo osilasi

δ = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)

F_o = Gaya angkat

V_{\max} = deformasi statis maksimum struktur karena berat sendiri dalam arah yang ditinjau

m = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari

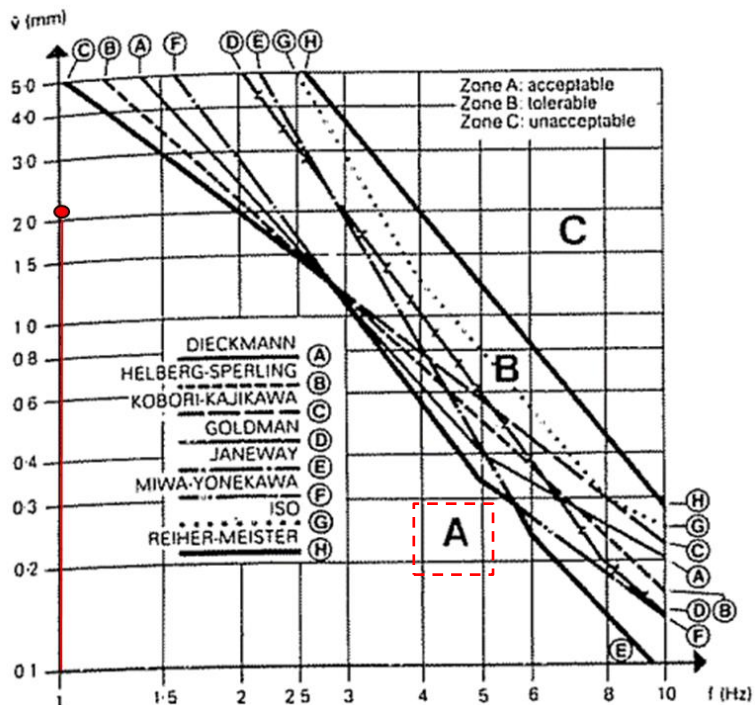
Dari hasil analisa dengan program MIDAS didapat nilai v_{\max} yang terjadi akibat berat sendiri struktur sebesar 0,37 m. Penurunan logaritmik (koefisien peredam) ditentukan 0,05. Berat sendiri lantai kendaraan adalah 89,92 kN/m

$$\begin{aligned}\hat{v} &= \frac{\pi}{\delta} \frac{F_o}{m} v_{\max} \\ &= \frac{\pi}{0,05} \frac{78,49}{89,92} \cdot 0,37 \\ &= 20,281 \text{ mm}\end{aligned}$$

Bila perlu, perhitungan dapat dilanjutkan dengan mencari nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut :

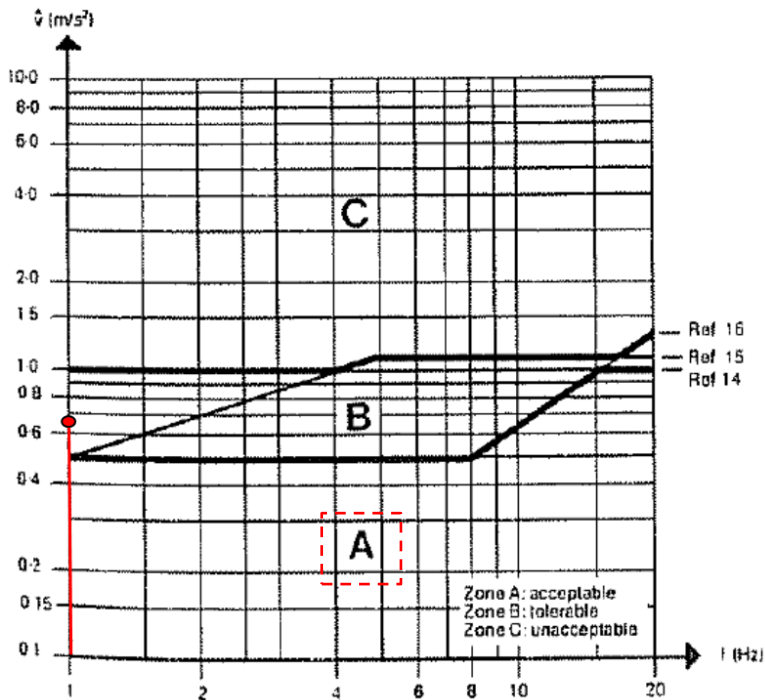
$$\begin{aligned}\hat{v} &= 4\pi^2 \times f_b^2 \times \hat{v} \\ &= 4\pi^2 \times 0,9^2 \times 20 \\ &= 0,65 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Digunakan f_B maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (v) dengan melakukan plot nilai v dan f_B pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.94**



Gambar 4. 94 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan amplitudo

Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\hat{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada grafik terkait. Untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 4.95**



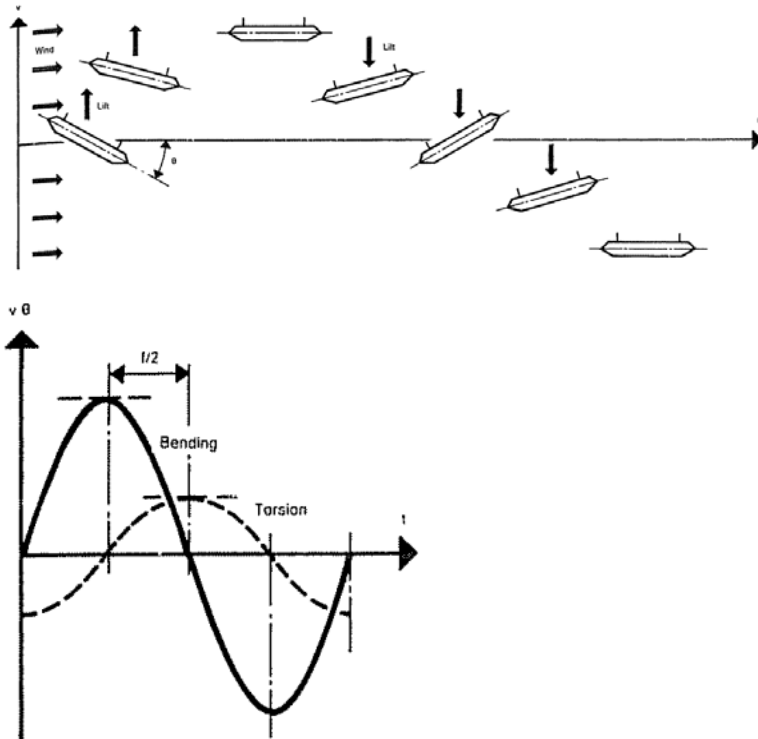
Gambar 4. 95 Klasifikasi Efek psikologis berdasarkan percepatan

Dari kedua grafik diatas didapat kesimpulan bahwa desain jembatan ini berada pada area (A), yang berarti bahwa desain dapat diterima (acceptable) baik berdasarkan nilai amplitudo (v) vs frekwensi alami lentur balok (f_B) maupun nilai percepatan getaran (\dot{v}) vs frekwensi alami torsi (f_T).

4.8.3 Efek Ayunan (*Flutter*)

Fenomena ini terjadi pada kecepatan kritis yang menimbulkan ayunan lentur (f_B) dan ayunan torsi (f_T), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Untuk desain yang ideal nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase.

Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada **Gambar 4.80** berikut ini.



Gambar 4. 96 Efek *Flutter* dengan perbedaan fase $\pi/2$

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{\text{kritis teoritis}}$), dapat digunakan metode KLOEPPEL, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{kritis teoritis}} = 2\pi \cdot f_B \cdot b$$

$b = \frac{1}{2}$ lebar lantai kendaraan

Dimana nilai $V_{\text{kritis teoritis}}$ dapat dicari secara grafis dan tergantung dari tiga besaran berikut ini :

$$1. \mu = \frac{m}{\pi p b^2}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} m &= \text{berat sendiri lantai kendaraan per meter lari} \\ &= 89,92 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{berat volume udara} \\ &= 1,3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \text{setengah lebar lantai kendaraan} \\ &= 8,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{89,92}{\pi \cdot 1,3 \cdot 8,5^2} \\ &= 30,49 \end{aligned}$$

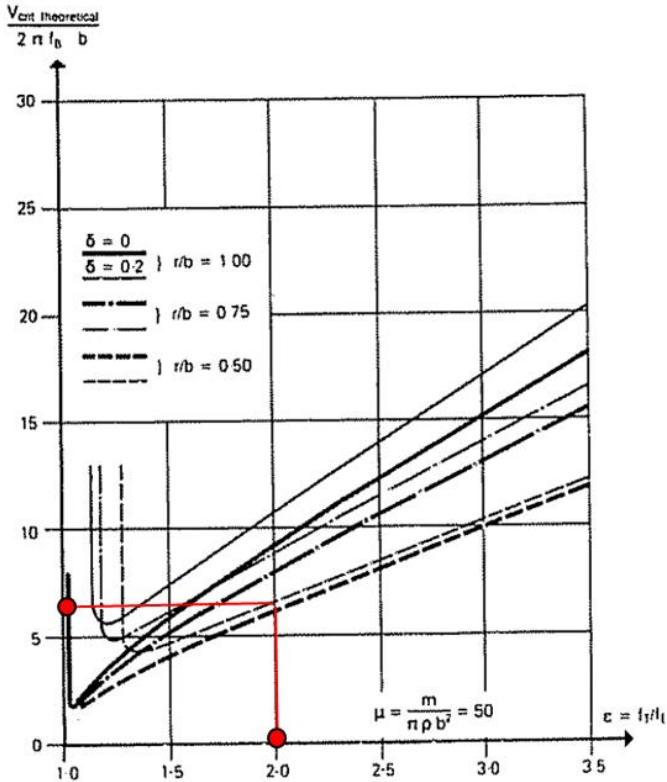
$$\begin{aligned} 2. \frac{\delta}{b} &= 0,05/8,5 \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \varepsilon &= f_T/f_B \\ &= 1,82 / 0,9 \\ &= 2,02 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai kecepatan kritis teoritis perlu dicari nilai faktor pengali yang didapatkan dari Gambar 7.47 dengan melakukan plot nilai perbandingan frekwensi torsi dengan frekwensi lentur (f_T/f_B).

$$\delta = 0,05$$

$$\begin{aligned} r/b &= 3,09/8,5 \\ &= 0,36 \\ &= 0,5 \end{aligned}$$



Gambar 4. 97 Kecepatan kritis teoritis untuk flutter

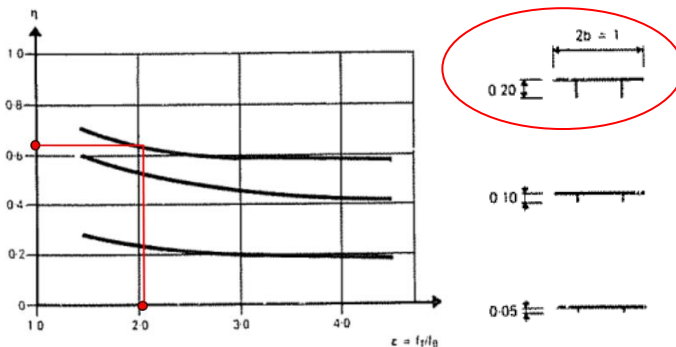
Dari nilai $\epsilon = 2,02$ maka didapat nilai

$$\frac{V_{crit.theoretical}}{2 \times \pi \times f_B \times b} = 6$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{crit.theoretical} &= 6 (2 \times \pi \times f_B \times b) \\ &= 6 (2 \times \pi \times 0,9 \times 8,5) \\ &= 288,86 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik (Walther, 1999).



Gambar 4.98 Grafik Koefisien Koreksi

Dari grafik pada **Gambar 4.98** dengan menyesuaikan penampang lantai kendaraan yang dipakai mendekati, didapatkan nilai koreksi $\eta = 0,63$

$$V_{\text{crit actual } \alpha = 0} = 0,63 \times 288,86 = 181.98 \text{ m/s}$$

Pada kenyataannya, angin tidak selalu menabrak jembatan dalam arah horisontal sempurna. Terkadang terdapat sudut α yang berkisar antara 3° sampai 9° (rata-rata 6°). Maka dari itu, diperlukan lagi koreksi. Untuk lantai kendaraan dengan penampang aerodinamis, koreksi ini sebesar $\frac{1}{3}$ (0,33) untuk box section deck (Walther, 1999).

$$\begin{aligned} \eta (\alpha = \pm 6^\circ) &= 0,33 \times \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \\ &= 0,33 \times 0,63 \\ &= 0,21 \end{aligned}$$

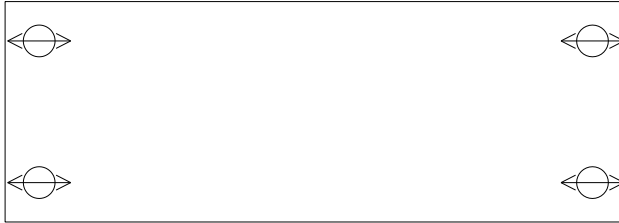
Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{crit actual } \alpha = \pm 6^\circ} &= \eta (\alpha = \pm 6^\circ) \times V_{\text{crit theoretical}} \\ &= 0,21 \times 288,86 \text{ m/s} \\ &= 60,66 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hal ini berarti, bila angin di lapangan bertiup dengan kecepatan 60,66 m/s, maka akan mulai terjadi efek *flutter*. Sedangkan untuk perencanaan, telah digunakan kecepatan angin 35 m/s, sehingga analisa efek *flutter* memenuhi. Analisa ini perlu dilanjutkan dengan pembuktian dengan memakai model agar didapat hasil yang akurat.

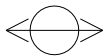
4.9 Desain Perletakan

Dengan adanya perletakan akan maka gaya dalam yang terjadi pada struktur atas akan disalurkan ke struktur bawah dan perletakan sendiri sebagai penompang jembatan. Berikut ini adalah *layout* dari penempatan perletakan yang digunakan.



Gambar 4. 99 Layout penempatan perletakan

Dimana :

 = *pot bearing unidirectional*

4.9.1 Desain Pot Bearing

Pot bearing unidirectional merupakan jenis perletakan dimana hanya memungkinkan satu gerakan arah lateral. Berikut ini adalah model penggunaan *unidirectional pot bearing* tipe PU H2 dapat dilihat pada **Gambar 4.100**



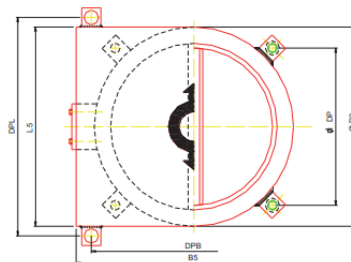
Gambar 4. 100 *Unidirectional pot bearing*

Maka hasil reaksi yang terjadi pada perletakan *pot bearing*, maka akan direncanakan menggunakan *unidirectional pot bearing* dengan tipe PU 1120/800/H2 EN. Gaya dalam yang dapat diterima oleh *pot bearing* sebagai berikut :

- V = 1493,61 kN
- H = 2271,24 kN

Tabel 4. 41 Kapasitas unidirectional pot bearing dengan tipe PU 1120/800/H2 EN

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PU 100/70/H2 EN	977	210	700	140	350	40
PU 200/140/H2 EN	1.953	420	1.400	280	700	57
PU 300/220/H2 EN	3.069	660	2.200	440	1.100	101
PU 390/280/H2 EN	3.906	840	2.800	560	1.400	135
PU 490/350/H2 EN	4.883	1.050	3.500	700	1.750	172
PU 630/450/H2 EN	6.278	1.350	4.500	900	2.250	249
PU 700/500/H2 EN	6.975	1.500	5.000	1.000	2.500	320
PU 840/600/H2 EN	8.370	1.800	6.000	1.200	3.000	377
PU 900/650/H2 EN	9.068	1.950	6.500	1.300	3.250	421
PU 1000/700/H2 EN	9.765	2.100	7.000	1.400	3.500	459
PU 1120/800/H2 EN	11.160	2.400	8.000	1.600	4.000	515
PU 1200/850/H2 EN	11.858	2.550	8.500	1.700	4.250	559
PU 1320/950/H2 EN	13.253	2.850	9.500	1.900	4.750	633
PU 1400/1000/H2 EN	13.950	3.000	10.000	2.000	5.000	670
PU 1535/1100/H2 EN	15.345	3.300	11.000	2.200	5.500	843
PU 1700/1200/H2 EN	16.740	3.600	12.000	2.400	6.000	926
PU 1800/1300/H2 EN	18.135	3.900	13.000	2.600	6.500	1.042
PU 2000/1400/H2 EN	19.530	4.200	14.000	2.800	7.000	1.150
PU 2100/1500/H2 EN	20.925	4.500	15.000	3.000	7.500	1.287
PU 2250/1600/H2 EN	22.320	4.800	16.000	3.200	8.000	1.428
PU 2400/1700/H2 EN	23.715	5.100	17.000	3.400	8.500	1.559
PU 2500/1800/H2 EN	25.110	5.400	18.000	3.600	9.000	1.677
PU 2650/1900/H2 EN	26.505	5.700	19.000	3.800	9.500	1.780
PU 2800/2000/H2 EN	27.900	6.000	20.000	4.000	10.000	1.913
PU 3000/2200/H2 EN	30.690	6.600	22.000	4.400	11.000	2.367



Gambar 4. 101 Pot bearing tampak atas

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari seluruh analisa yang kemudian dikontrol dari desain jembatan *cable stayed* ini, disajikan pada bab kesimpulan dengan rincian sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan struktur sekunder jembatan busur didapatkan :
 - Tiang sandraan menggunakan beton bertulang dengan dimensi 0,2 m x 0,15 m x 1,2 m
 - Pipa sandaran berupa profil pipa baja dengan dimensi Ø60,5 mm.
 - Pelat lantai kendaraan menggunakan beton dengan ketebalan 0,2 m dan aspal 0,05 m.
 - Gelagar melintang dengan profil WF 1120.405.26.45
 - Gelagar memanjang dengan profil WF 400.300.9.14
 - Gelagar kantilever dengan profil WF 440.150.6,5.9
2. Permodelan dan analisa struktur menggunakan program MIDAS/CIVIL. Metode pelaksanaan atau *staging analysis* menggunakan metode *backward solution*, sedangkan pelaksanaan konstruksinya menggunakan *form traveler*.
3. Gelagar utama berupa *rectangular twin box girder* dengan dimensi 2500.1500.50.60 dengan pengaku 250.22,5. Sambungan antar gelagar utama berupa sambungan baut dengan diameter Ø35.
4. Jembatan masih mampu menahan beban statik dan dinamis (gempa) saat jembatan diasumsikan satu kabel putus, dengan rasio kombinasi lentur dan aksial adalah $0,96 < 1,00$.
5. Kabel yang digunakan adalah *VSL 7-wire strand*, tipe ASTM A 416-05 Grade 270.
6. Struktur pylon dengan dimensi 4 m x 3 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan pylon didapat :
 - Tulangan lentur 12D36-200
 - Tulangan geser arah Y 2D22-120

- Tulangan geser arah Z 2D22-288
 - Tulangan torsi longitudinal 42D36-300
 - Tulangan torsi transversal 2D25-300
7. Balok pengaku (*upper cross beam*) dengan dimensi 3 m x 4 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan pylon didapat :
- Tulangan lentur 124D36-150
 - Tulangan geser arah Y 2D22-288
 - Tulangan geser arah Z 2D22-288
 - Tulangan torsi longitudinal 10D36-300
 - Tulangan torsi transversal D22-300
8. Balok pengaku (*lower cross beam*) dengan dimensi 3 m x 4 m berupa beton bertulang. Untuk penulangan pylon didapat :,
- Tulangan lentur 124D40-155
 - Tulangan geser arah Y 2D22-288
 - Tulangan geser arah Z 2D22-288
 - Tulangan torsi longitudinal 10D36-300
 - Tulangan torsi transversal D22-300
9. Stabilitas aerodinamis struktur jembatan setelah dihitung menggunakan rumus empiris untuk evek *vortex-shedding* pada cek psikologis masih dominan berada pada daerah *acceptable* dan *tolerance*. Sedangkan untuk efek ayunan (*flutter*) aman, kecepatan angin izin untuk terjadi efek ayun lebih besar dari kecepatan angin desain, yaitu sebesar 60,66 m/dt.

5.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, maka dari itu perlu adanya hal-hal yang harus diperhatikan agar perencanaan atau desain sejenis dapat lebih baik lagi, hal-hal tersebut antara lain :

1. Agar ketelitian dalam desain lebih baik dari desain ini kedepannya perlu untuk menambah macam konfigurasi pembebanan (berupa beban statik) untukantisipasi keadaan yang paling kritis, sehingga desain bisa lebih aman.
2. Dalam menentukan distribusi pembebanan pada saat *staging analysis* tepatnya pembebanan *form traveler* terhadap lantai kendaraan perlu di cek kembali supaya lebih proporsional (mendekati kondisi yang sebenarnya).
3. Untuk desain yang sebenarnya dalam analisa dinamis akibat beban angin selain dilakukan kontrol menggunakan rumus empiris perlu juga dimodelkan penuh menggunakan terowongan angina (*wind tunnel*). Hal ini dimaksudkan agar ketelitian dalam desain lebih akurat.

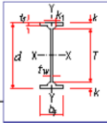
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Wai-Fah and Duan Lian. 2014. *Bridge Engineering Handbook Superstructure Design*
- Gimsing, Neils J. . 1983. *Cable Suported Bridge Concept and Design*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Juvani, Jani, dan Olli Lipponen. 2012. *Cable Stayed Bridge*”. Alto University 7 (November).
- Ma’arif, Faqih. 2012. *Analisa Struktur Jembatan*. Universitas Negeri Yogyakarta
- Mahardhika, Bintang 2017. *Perencanaan Modifikasi Jembatan Rangka Busur Baja pada Jembatan Pemali Disertai Damper Sebagai Lateral Stopper*. Jurusan Teknik Sipil ITS
- Nugraha, Rizky, 2017. *Desain Alternatif Jembatan Musi III Menggunakan Sistem Multi-Span-Stayed dengan Fishbone Model*. Jurusan Teknik Sipil ITS
- Parke, Gerard, dan Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering Second Edition*. London, Thomas Telford Ltd.
- Podolny, W, and Scalzi. 1986. *Construction and Design of Cable-Stayed Bridge*. New York
- Soegiharjo, H, Irawan D, Harwijono. 2007. *Kuliah Rekayasa Jembatan Bentang Panjang*. Jurusan Teknik Sipil ITS
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.

- Standar Nasional Indonesia. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. RSNI 2833-2016. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. SK PU 23 April 2015. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
- Walter, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London, Thomas Telford Publising.

LAMPIRAN



Wide flange beams

www.Structural-Drafting-Net-Expert.com

Steel Sections

Drafting Service

Home page

Ads by Google

Size Chart

Steel I Beam

Shape Steel

Dimensions

Properties

Designation	Area		Depth		Web			Flange			Distance		
	A	d	in.	in.	Thickness		t _w	Width		Thickness	T	k	k ₁
					in.	in.		in.	in.				
W44x335	98.3	44.02	44	1.020	1	1/2	15.950	15 ³ / ₄	1.770	1 ³ / ₄	38 ⁷ / ₁₆	2 ⁹ / ₁₆	1 ⁵ / ₁₆
W44x290	85.8	43.62	43 ⁵ / ₈	0.870	7/8	7/16	15.830	15 ⁷ / ₈	1.580	1 ⁹ / ₁₆	38 ⁷ / ₁₆	2 ⁷ / ₈	1 ¹ / ₄
W44x262	77.2	43.31	43 ³ / ₈	0.790	13/16	3/8	15.750	15 ³ / ₄	1.420	1 ⁷ / ₁₆	38 ⁷ / ₁₆	2 ³ / ₁₆	1 ³ / ₁₆
W44x230	67.7	42.91	42 ⁷ / ₈	0.710	11/16	3/8	15.750	15 ³ / ₄	1.220	1 ¹ / ₄	38 ⁷ / ₁₆	2	1 ¹ / ₈
W40x593	174	42.99	43	1.790	1 ¹³ / ₁₆	1	16.690	16 ³ / ₄	3.230	3 ¹ / ₄	34 ³ / ₁₆	4 ⁷ / ₁₆	2 ¹ / ₁₆
W40x503	148	42.05	42 ¹ / ₁₆	1.540	1 ⁹ / ₁₆	3/4	16.420	16 ⁷ / ₁₆	2.760	2 ³ / ₄	34 ³ / ₁₆	3 ¹⁵ / ₁₆	1 ¹⁵ / ₁₆
W40x431	127	41.26	41 ¹ / ₄	1.340	1 ³ / ₁₆	11/16	16.220	16 ¹ / ₄	2.360	2 ³ / ₈	34 ³ / ₁₆	3 ⁹ / ₁₆	1 ⁷ / ₈
W40x372	109	40.63	40 ⁵ / ₈	1.160	1 ³ / ₁₆	9/16	16.060	16 ¹ / ₁₆	2.050	2 ¹ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	3 ¹ / ₄	1 ³ / ₄
W40x321	94.1	40.08	40 ¹ / ₁₆	1.000	1	1/2	15.910	15 ⁷ / ₈	1.770	1 ³ / ₄	34 ³ / ₁₆	2 ¹⁵ / ₁₆	1 ¹¹ / ₁₆
W40x297	87.4	39.84	39 ⁷ / ₈	0.930	15/16	1/2	15.825	15 ⁷ / ₈	1.650	1 ⁵ / ₈	34 ³ / ₁₆	3 ¹ / ₁₆	1 ¹¹ / ₁₆
W40x277	81.3	39.69	39 ³ / ₄	0.830	13/16	7/16	15.830	15 ⁷ / ₈	1.575	1 ⁹ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	2 ³ / ₄	1 ⁵ / ₈
W40x249	73.3	39.38	39 ³ / ₈	0.750	3/4	3/8	15.750	15 ³ / ₄	1.420	1 ⁷ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	2 ⁷ / ₈	1 ⁹ / ₁₆
W40x215	63.3	38.98	39	0.650	5/8	5/16	15.750	15 ³ / ₄	1.220	1 ¹ / ₄	34 ³ / ₁₆	2 ³ / ₈	1 ¹ / ₂
W40x199	58.4	38.67	38 ⁵ / ₈	0.650	5/8	5/16	15.750	15 ³ / ₄	1.065	1 ¹ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	2 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂
W40x174	51.1	38.20	38 ¹ / ₄	0.650	5/8	5/16	15.750	15 ³ / ₄	0.830	13/16	34 ³ / ₁₆	2	1 ¹ / ₂
W40x466	137	42.44	42 ⁷ / ₁₆	1.670	1 ¹¹ / ₁₆	13/16	12.640	12 ⁵ / ₈	2.950	2 ¹⁵ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	4 ¹ / ₈	2
W40x392	115	41.57	41 ⁹ / ₁₆	1.420	1 ⁷ / ₁₆	11/16	12.360	12 ³ / ₈	2.520	2 ⁷ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	3 ¹¹ / ₁₆	1 ⁷ / ₈
W40x331	97.6	40.79	40 ¹³ / ₁₆	1.220	1 ¹ / ₄	5/8	12.170	12 ⁷ / ₁₆	2.130	2 ¹ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	3 ⁵ / ₁₆	1 ¹³ / ₁₆
W40x278	81.8	40.16	40 ³ / ₁₆	1.020	1	1/2	11.970	12	1.810	1 ¹³ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	3	1 ¹¹ / ₁₆
W40x264	77.6	40.00	40	0.960	1	1/2	11.930	12	1.730	1 ³ / ₄	34 ³ / ₁₆	2 ¹⁵ / ₁₆	1 ¹¹ / ₁₆
W40x235	68.9	39.69	39 ⁷ / ₄	0.830	13/16	7/16	11.890	11 ⁷ / ₈	1.575	1 ⁷ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	2 ¹ / ₄	1 ³ / ₈
W40x211	62.0	39.37	39 ³ / ₈	0.750	3/4	3/8	11.810	11 ³ / ₄	1.415	1 ⁹ / ₁₆	34 ³ / ₁₆	2 ⁷ / ₈	1 ⁹ / ₁₆
W40x183	53.7	38.98	39	0.650	5/8	5/16	11.810	11 ³ / ₄	1.220	1 ¹ / ₄	34 ³ / ₁₆	2 ³ / ₈	1 ¹ / ₂
W40x167	49.1	38.59	38 ⁵ / ₈	0.650	5/8	5/16	11.810	11 ³ / ₄	1.025	1	34 ³ / ₁₆	2 ³ / ₁₆	1 ¹ / ₂
W40x149	43.8	38.20	38 ¹ / ₄	0.630	5/8	5/16	11.810	11 ³ / ₄	0.830	13/16	34 ³ / ₁₆	2	1 ¹ / ₂
W36x848	249	42.45	42 ¹ / ₂	2.520	2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄	18.130	18 ¹ / ₈	4.530	4 ¹ / ₂	31 ¹ / ₈	5 ¹¹ / ₁₆	2 ¹ / ₄
W36x798	234	41.97	42	2.380	2 ³ / ₈	1 ³ / ₁₆	17.990	18	4.290	4 ⁵ / ₁₆	31 ¹ / ₈	5 ⁷ / ₁₆	2 ¹ / ₁₆
W36x650	190	40.47	40 ¹ / ₂	1.970	2	1	17.575	17 ⁵ / ₈	3.540	3 ⁹ / ₁₆	31 ¹ / ₈	4 ¹¹ / ₁₆	2
W36x527	154	39.21	39 ¹ / ₄	1.610	1 ⁵ / ₈	13/16	17.220	17 ¹ / ₄	2.910	2 ¹⁵ / ₁₆	31 ¹ / ₈	4 ¹ / ₁₆	1 ³ / ₄
W36x439	128	38.26	38 ¹ / ₄	1.360	1 ³ / ₈	11/16	16.965	17	2.440	2 ⁷ / ₁₆	31 ¹ / ₈	3 ⁹ / ₁₆	1 ⁷ / ₈
W36x393	115	37.80	37 ¹ / ₄	1.220	1 ¹ / ₄	5/8	16.830	16 ⁷ / ₈	2.200	2 ³ / ₁₆	31 ¹ / ₈	3 ³ / ₁₆	1 ⁷ / ₈
W36x359	105	37.40	37 ³ / ₈	1.120	1 ¹ / ₈	9/16	16.730	16 ³ / ₄	2.010	2	31 ¹ / ₈	3 ³ / ₈	1 ⁹ / ₁₆
W36x328	96.4	37.09	37 ¹ / ₈	1.020	1	1/2	16.630	16 ³ / ₈	1.850	1 ⁷ / ₈	31 ¹ / ₈	3	1 ¹ / ₂
W36x300	88.3	36.74	36 ³ / ₄	0.945	15/16	1/2	16.655	16 ⁵ / ₈	1.680	1 ¹¹ / ₁₆	31 ¹ / ₈	2 ¹³ / ₁₆	1 ¹ / ₂
W36x280	82.4	36.52	36 ¹ / ₂	0.885	7/8	7/16	16.595	16 ⁵ / ₈	1.570	1 ⁹ / ₁₆	31 ¹ / ₈	2 ¹¹ / ₁₆	1 ¹ / ₂
W36x260	76.5	36.26	36 ¹ / ₄	0.840	13/16	7/16	16.550	16 ¹ / ₂	1.440	1 ⁷ / ₁₆	31 ¹ / ₈	2 ⁹ / ₁₆	1 ¹ / ₂
W36x245	72.1	36.08	36 ³ / ₈	0.800	13/16	7/16	16.510	16 ¹ / ₂	1.350	1 ³ / ₈	31 ¹ / ₈	2 ⁷ / ₁₆	1 ¹ / ₁₆

Stud Welding applications

Concrete Connections



Sales Auckland Tel: 09 820 9133
 Fax: 09 820 9131
 Cell: 0274 764 287
 Email: mikesmart@nelsonstud.co.nz

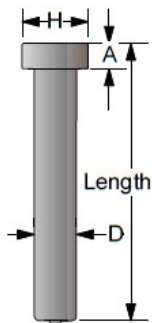
Sales Wellington Tel: 04 233 9421
 Fax: 04 233 1072
 Cell: 0274 842 611
 Email: ian@nelsonstud.co.nz

The Nelson System Product and embedment data

▣ Headed anchors

Stock sizes (Not all sizes carried. Please enquire)

H4L	B Stud Dia	L Length	A	H	Part No
S3L					
13 H4L		54			101-053-047
13 H4L		79			101-053-002
13 H4L		104	71.37	25.40	101-053-003
13 H4L		134			101-053-005
13 H4L		154			101-053-008
13 H4L		205			101-053-010
16 H4L		68			101-053-012
16 H4L		106	71.37	31.75	101-053-015
16 H4L		165			101-053-019
16 H4L		206			101-053-023
19 S3L		80			101-098-003
19 S3L		85			101-098-132
19 S3L		87			101-098-127
19 S3L		106			101-098-007
19 S3L		123			101-098-131
19 S3L		131	9.53	31.75	101-098-011
19 S3L		135	(min.)		101-098-143
19 S3L		148			101-098-138
19 S3L		156			101-098-015
19 S3L		181			101-098-019
19 S3L		206			101-098-023
22 S3L		93			101-098-029
22 S3L		106			101-098-031
22 S3L		131	9.53	34.93	101-098-035
22 S3L		156	(min.)		101-098-039
22 S3L		181			101-098-043
22 S3L		206			101-098-047



▣ Tension capacity

The following data is presented as guidelines only and are based on embedded studs and adequate spacing for full capacity development. Appropriate safety factors should be applied based on actual use. For further information consult Nelson Design Data 10

▣ Shear capacity

Headed anchors embedded in concrete with an embedment length more than four times their diameter are capable of developing full shear capacity. Spacing is not as sensitive in shear as in tension. Spacing four times diameter between studs in a plane perpendicular to the shear force and six times diameter in the direction of the shear force is generally adequate to develop full stud capacity. Free edges in the direction of the shear force and some spacing restrictions along a free edge apply. Consult Nelson Design Data 10, and use proper safety factors and edge reinforcement. An upper bound limit for headed studs is approached at 0.9 AsFs when concrete strength exceeds 35 Mpa

Headed studs used as inserts have different values than those employed in composite design. For shear capacity of studs in composite design with and without metal deck, see the AISC code and commentary dated November 1978

▣ Short form specification

To insure that certified Nelson products are used, the following specification is suggested. *Headed anchors shall be Nelson type H4L or S3L, flux filled welded to plates as shown on the drawings. Stud shall be made from cold drawn steel Grades To 1 C-1010 through C-1020 per ASTM A-108 and shall be welded per the manufactures recommendation.

Physical properties of H4L and S3L anchors

	Diameter	A _s Nominal	A _s f _y Yield	A _s f _t Tensile
f _t Ultimate strength (tensile)		Area	kg (min.)	kg (min.)
6.35 and 9.53 H4L ~ 380 Mpa min	6.35	31.7	1,111	1,222
12.7 and 15.88 H4L ~ 420 Mpa min	9.53	71.3	2,495	2,744
19.05 and 22.23 H4L ~ 420 Mpa min	12.70	126.7	4,445	5,334
yield strength ~ 345 Mpa min	15.88	198.0	6,963	8,355
Elongation ~ 20% min	19.05	285.0	10,024	12,029
Reduction Area 50% min	22.23	388.0	13,630	16,356

Cold Finished low carbon steel

C ~ 0.23 max

Mn ~ 0.90 max

P ~ 0.04 max f

S ~ 0.05 max

A_s Area of stud shank

VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



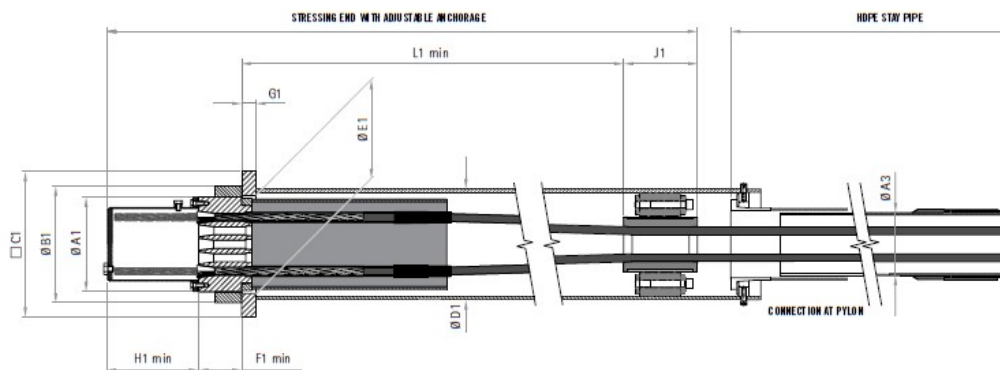
DESIGN
ENGINEERING
SUPPLY
INSTALLATION
MONITORING

VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

SSI 2000 STRESSING AND ANCHORAGE
FOR 127 TENDON UNIT (PAPENDORPSE BRIDGE)



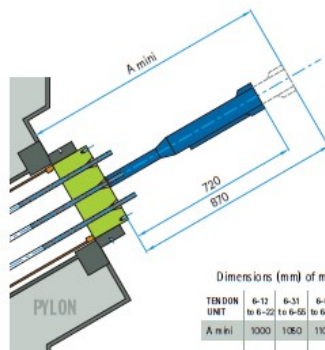
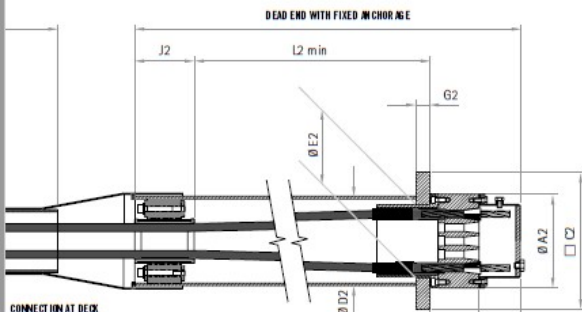
SSI 2000
DEAD END ANCHORAGE



Stay

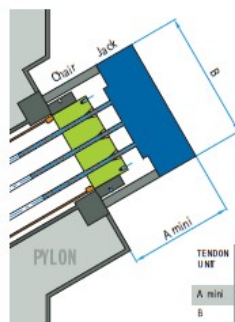
Stressing End

TENDON UNIT	Number of strands n	Minimum breaking load kN ^①	Force at 45% kN	Transverse force kN ^②	TENDON UNIT	Ø A1 mm	Ø B1 mm	C1 mm ^③	Ø D1 mm ^{④ ⑤}	Ø E1 mm	F1 min mm ^⑥	G1 mm ^⑦	H1 min mm ^⑧	J1 mm	L1 min mm
6-12	12	3,348	1,507	50	6-12	190	230	290	219.1/6.3	196	85	30	235	160	1,500
6-19	19	5,301	2,385	80	6-19	235	285	355	267/6.3	241	100	35	245	180	1,750
6-22	22	6,138	2,762	90	6-22	255	310	385	298.5/7.1	261	110	40	245	210	1,900
6-31	31	8,649	3,892	130	6-31	285	350	440	323.9/7.1	291	130	45	275	210	2,100
6-37	37	10,323	4,645	150	6-37	310	380	485	355.6/8.0	316	140	50	295	210	2,300
6-43	43	11,997	5,399	180	6-43	350	425	540	406.4/8.8	356	145	55	305	210	2,550
6-55	55	15,345	6,905	230	6-55	385	470	585	419/10	391	165	60	325	260	2,650
6-61	61	17,019	7,659	250	6-61	385	470	600	419/10	391	180	65	345	260	2,850
6-73	73	20,367	9,165	300	6-73	440	530	680	508/11	446	180	75	345	290	3,050
6-85	85	23,715	10,672	350	6-85	440	540	710	508/11	446	210	80	375	290	3,150
6-91	91	25,389	11,425	375	6-91	490	590	760	559/12.5	496	195	80	385	320	3,400
6-109	109	30,411	13,685	450	6-109	505	610	795	559/12.5	511	215	90	400	320	3,550
6-127	127	35,433	15,945	525	6-127	560	670	865	610/12.5	566	255	95	410	340	3,950



Dimensions (mm) of monostrand jack

TENDON UNIT	6-12 to 6-22	6-31 to 6-55	6-61 to 6-85	6-91 to 6-109	6-127
A min	1000	1060	1100	1150	1200

Dimensions (mm)
of multisrand jack and chair.

TENDON UNIT	6-12 to 6-19	6-22 to 6-31	6-31 to 6-37	6-37 to 6-43	6-43 to 6-55	6-55 to 6-61	6-61 to 6-73	6-73 to 6-85	6-85 to 6-91	6-91 to 6-109	6-109 to 6-127
A min	1000	1000	1100	1100	1200	1300	1350	1500			
B	490	620	620	760	760	970	970				

Dead End

TENDON UNIT	ØA2 mm	C2 mm	ØD2 mm	ØE2 mm	F2 mm	G2 mm	H2 min mm	J2 mm	L2min mm	ØA3 mm	TENDON UNIT
6-12	185	260	177.8/4.5	150	105	35	105	160	900	125/4.9	6-12
6-19	230	335	219.1/6.3	190	120	50	105	180	1,200	140/5.4	6-19
6-22	250	355	219.1/6.3	205	120	50	105	210	1,350	160/6.2	6-22
6-31	280	415	244.5/6.3	230	145	60	105	210	1,550	160/6.2	6-31
6-37	300	455	273/6.3	255	170	70	105	210	1,750	180/5.6	6-37
6-43	340	505	323.9/7.1	285	175	75	105	210	2,000	200/6.2	6-43
6-55	380	550	323.9/7.1	310	195	75	105	260	2,050	200/6.2	6-55
6-61	380	585	355.6/8	330	215	85	105	260	2,250	225/7.0	6-61
6-73	430	650	406.4/8.8	370	215	95	120	290	2,450	250/7.8	6-73
6-85	430	685	406.4/8.8	370	245	110	120	290	2,600	250/7.8	6-85
6-91	480	730	457/10	420	255	110	120	320	2,800	280/8.7	6-91
6-109	495	775	457/10	420	265	120	120	320	3,000	315/9.8	6-109
6-127	550	845	508/11	475	315	130	120	340	3,350	315/9.8	6-127

Stay Pipe

- Forces are indicated for strand EN 10138-3 1860S7 - 16.0 (Euro norm).
- Admissible transverse force on the standard guide deviator.
- Valid for nominal concrete strength at stressing to 45% of stay capacity: 45 MPa (cube), 36 MPa (cylinder). Dimension must be checked in case of other bearing condition.
- External diameter/ wall thickness.
- Minimum height of anchor head allows an adjustability of 40 mm.
- Dimensions valid for load monitoring/adjustment with multi-strand jack.
- Non-grouted stay.
- Guide pipe to be checked for the actual transverse force.

VSL CTT POT BEARINGS



DESIGN
ENGINEERING

TECHNICAL
SUPPORT

BEARING
FABRICATION



VSL – CTT POT BEARINGS

Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.

H2



Bearings according to Euronorm EN 1337

BEARING TYPE	V MAX ULS (kN)	H MAX ULS (kN)	V MAX SLS (kN)	H MAX SLS (kN)	V min SLS, ULS (kN)	Aprox. Weight (kg)
PU 100/70/H2 EN	977	210	700	140	350	40
PU 200/140/H2 EN	1.953	420	1.400	280	700	57
PU 300/220/H2 EN	3.069	660	2.200	440	1.100	101
PU 390/280/H2 EN	3.906	840	2.800	560	1.400	135
PU 490/350/H2 EN	4.883	1.050	3.500	700	1.750	172
PU 630/450/H2 EN	6.278	1.350	4.500	900	2.250	249
PU 700/500/H2 EN	6.975	1.500	5.000	1.000	2.500	320
PU 840/600/H2 EN	8.370	1.800	6.000	1.200	3.000	377
PU 900/650/H2 EN	9.068	1.950	6.500	1.300	3.250	421
PU 1000/700/H2 EN	9.765	2.100	7.000	1.400	3.500	450
PU 1120/800/H2 EN	11.160	2.400	8.000	1.600	4.000	515
PU 1200/850/H2 EN	11.858	2.550	8.500	1.700	4.250	559
PU 1320/950/H2 EN	13.253	2.850	9.500	1.900	4.750	633
PU 1400/1000/H2 EN	13.950	3.000	10.000	2.000	5.000	670
PU 1535/1100/H2 EN	15.345	3.300	11.000	2.200	5.500	843
PU 1700/1200/H2 EN	16.740	3.600	12.000	2.400	6.000	926
PU 1800/1300/H2 EN	18.135	3.900	13.000	2.600	6.500	1.042
PU 2000/1400/H2 EN	19.530	4.200	14.000	2.800	7.000	1.150
PU 2100/1500/H2 EN	20.925	4.500	15.000	3.000	7.500	1.287
PU 2250/1600/H2 EN	22.320	4.800	16.000	3.200	8.000	1.428
PU 2400/1700/H2 EN	23.715	5.100	17.000	3.400	8.500	1.559
PU 2500/1800/H2 EN	25.110	5.400	18.000	3.600	9.000	1.677
PU 2650/1900/H2 EN	26.505	5.700	19.000	3.800	9.500	1.780
PU 2800/2000/H2 EN	27.900	6.000	20.000	4.000	10.000	1.913
PU 3000/2200/H2 EN	30.690	6.600	22.000	4.400	11.000	2.367

Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 20% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movement ± 50 mm

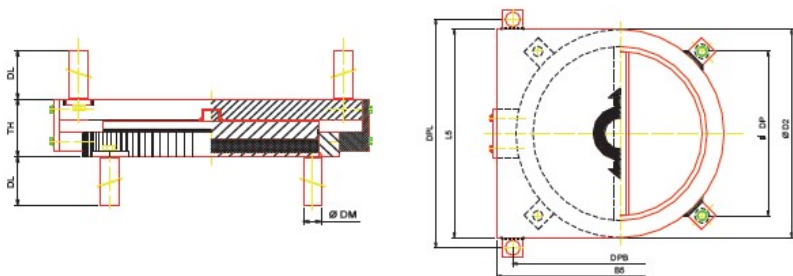
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



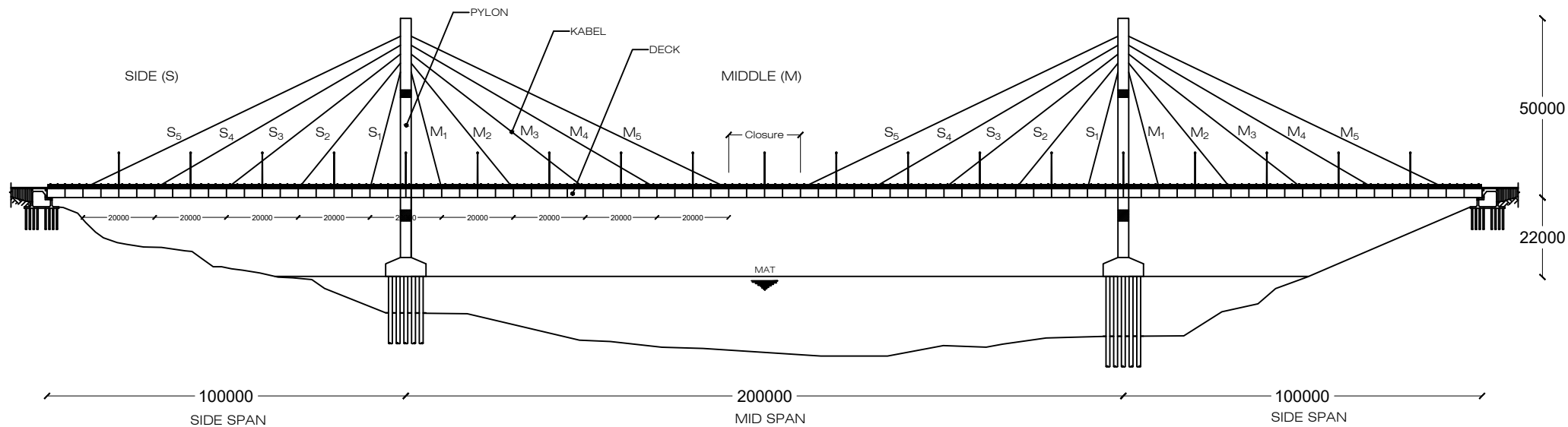
Main Dimensions

BEARING TYPE	Pot Ø D2 (mm)	Total height TH (mm)	Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm)	Recommended Pier Ø (mm)	DM Ø (mm)	DL (mm)	DPL (mm)	DPB (mm)	DP (mm)
PU 100/70/H2 EN	250	83	290 x 250	400	30	150	200	310	219
PU 200/140/H2 EN	312	84	347 x 312	499	30	150	257	372	263
PU 300/220/H2 EN	390	103	405 x 390	624	30	150	315	450	318
PU 390/280/H2 EN	439	105	440 x 439	702	40	200	350	499	353
PU 490/350/H2 EN	492	113	492 x 492	787	40	200	402	552	390
PU 630/450/H2 EN	553	129	553 x 553	885	40	200	463	613	433
PU 700/500/H2 EN	588	130	588 x 588	941	60	300	478	668	472
PU 840/600/H2 EN	624	143	624 x 624	998	60	300	514	704	498
PU 900/650/H2 EN	651	149	651 x 651	1.042	60	300	541	731	517
PU 1000/700/H2 EN	673	150	673 x 673	1.077	60	300	563	735	532
PU 1120/800/H2 EN	721	153	721 x 721	1.154	60	300	611	801	566
PU 1200/850/H2 EN	754	154	754 x 754	1.206	60	300	644	834	590
PU 1320/950/H2 EN	782	166	782 x 782	1.251	60	300	672	862	610
PU 1400/1000/H2 EN	804	167	804 x 804	1.286	60	300	694	884	625
PU 1535/1100/H2 EN	838	184	838 x 838	1.341	70	350	718	928	656
PU 1700/1200/H2 EN	880	186	880 x 880	1.408	70	350	760	970	686
PU 1800/1300/H2 EN	914	188	914 x 914	1.462	80	400	784	1014	717
PU 2000/1400/H2 EN	944	200	944 x 944	1.510	80	400	814	1044	738
PU 2100/1500/H2 EN	978	201	978 x 978	1.565	90	450	848	1078	762
PU 2250/1600/H2 EN	1.022	214	1022 x 1022	1.635	90	450	892	1122	793
PU 2400/1700/H2 EN	1.048	215	1048 x 1048	1.677	90	450	918	1148	812
PU 2500/1800/H2 EN	1.077	221	1077 x 1077	1.723	90	450	947	1177	832
PU 2650/1900/H2 EN	1.108	223	1108 x 1108	1.773	90	450	978	1208	854
PU 2800/2000/H2 EN	1.151	225	1151 x 1151	1.842	90	450	1021	1251	885
PU 3000/2200/H2 EN	1.286	234	1286 x 1286	2.058	90	450	1156	1386	980



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.





Tampak Memanjang
1 : 1600



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MEMANJANG

SKALA

1 : 1600

NO

1

JMLH

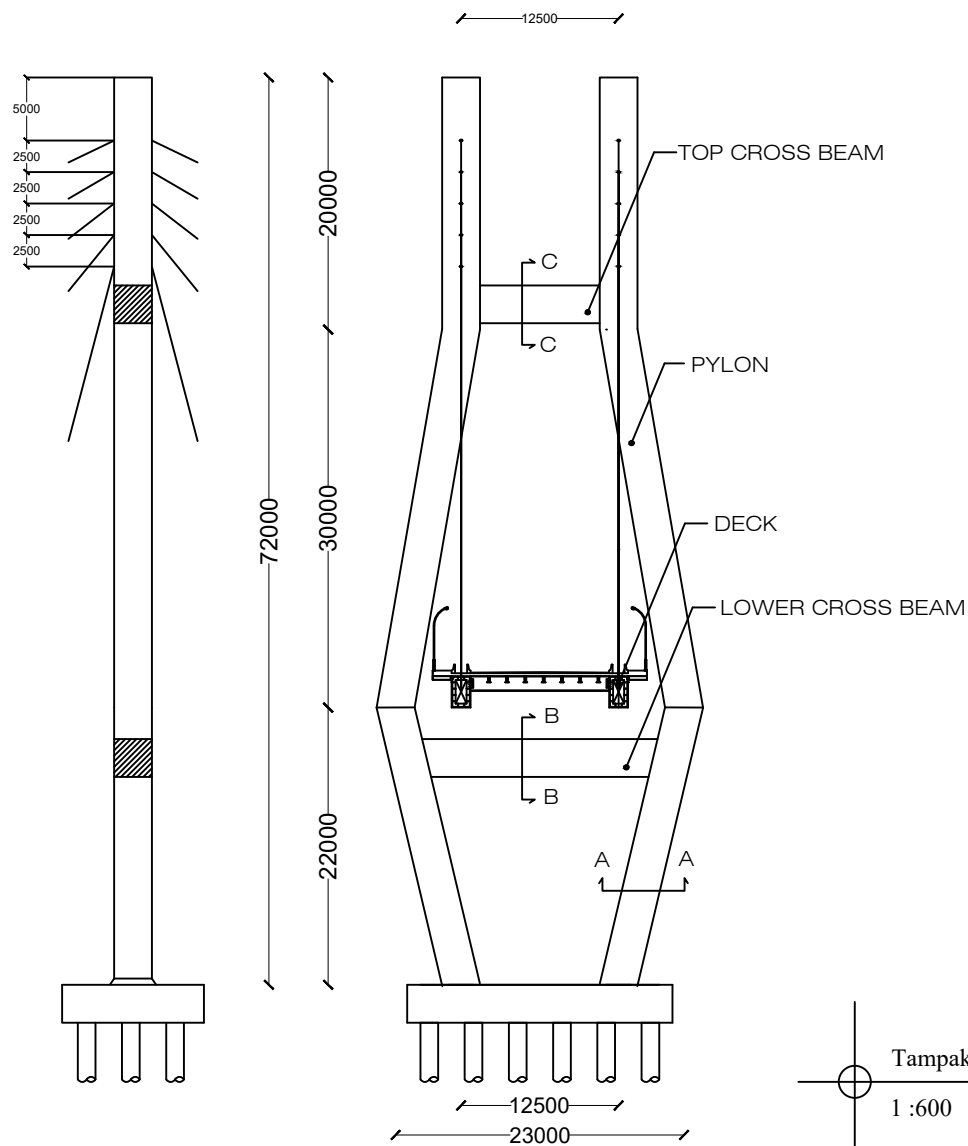
18

DOSEN PEMBIMBING

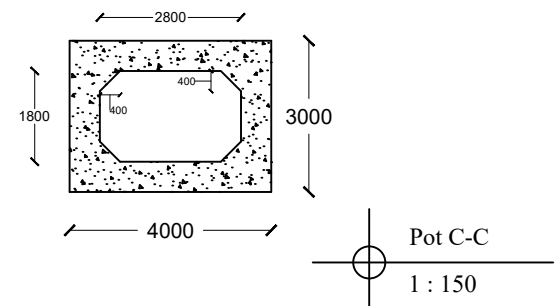
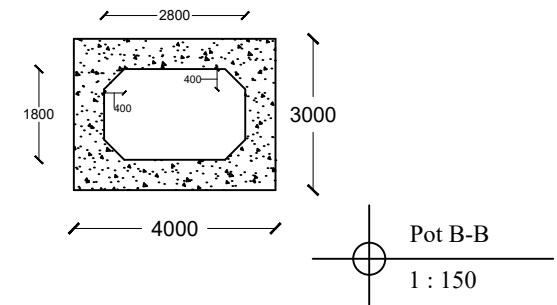
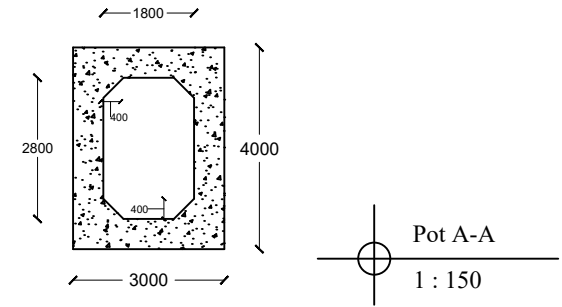
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Tampak Melintang
1 : 600



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MELINTANG

SKALA

1 : 600

NO

2

JMLH

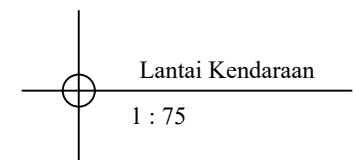
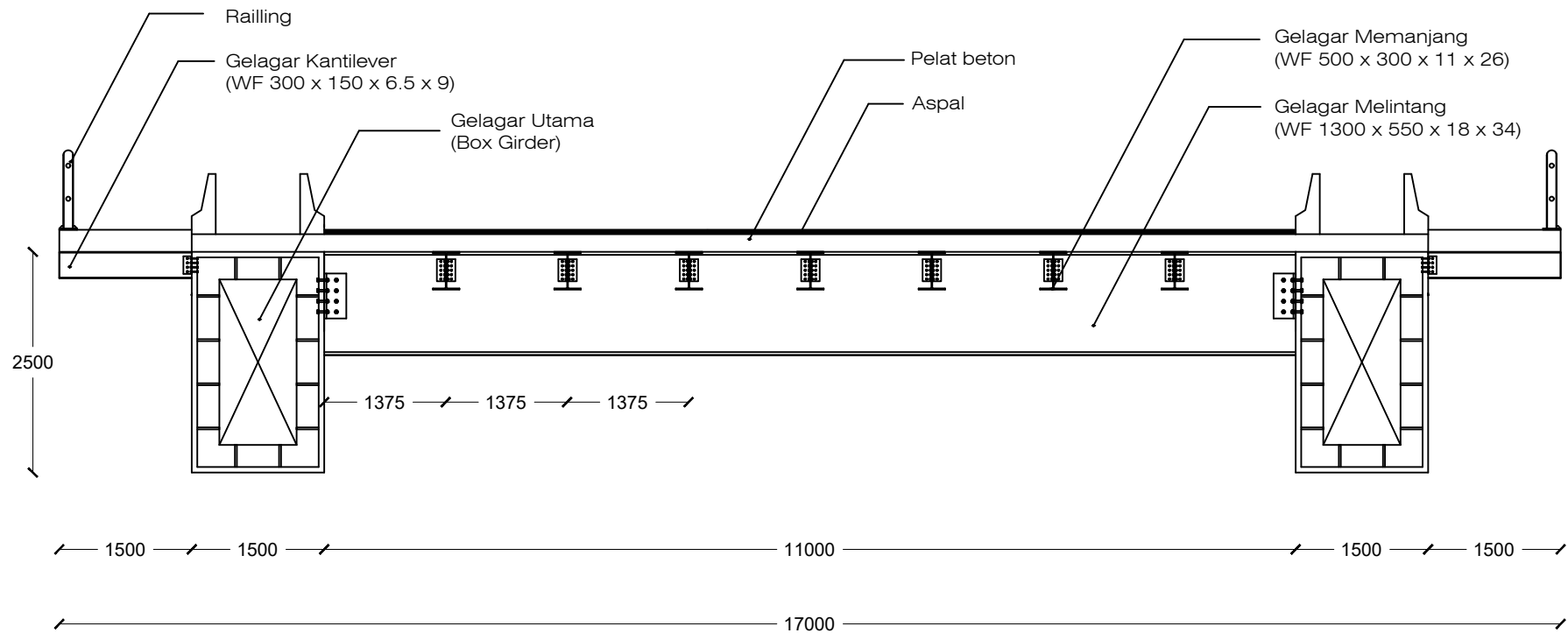
18

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

LANTAI KENDARAAN

SKALA

1 : 75

NO

3

JMLH

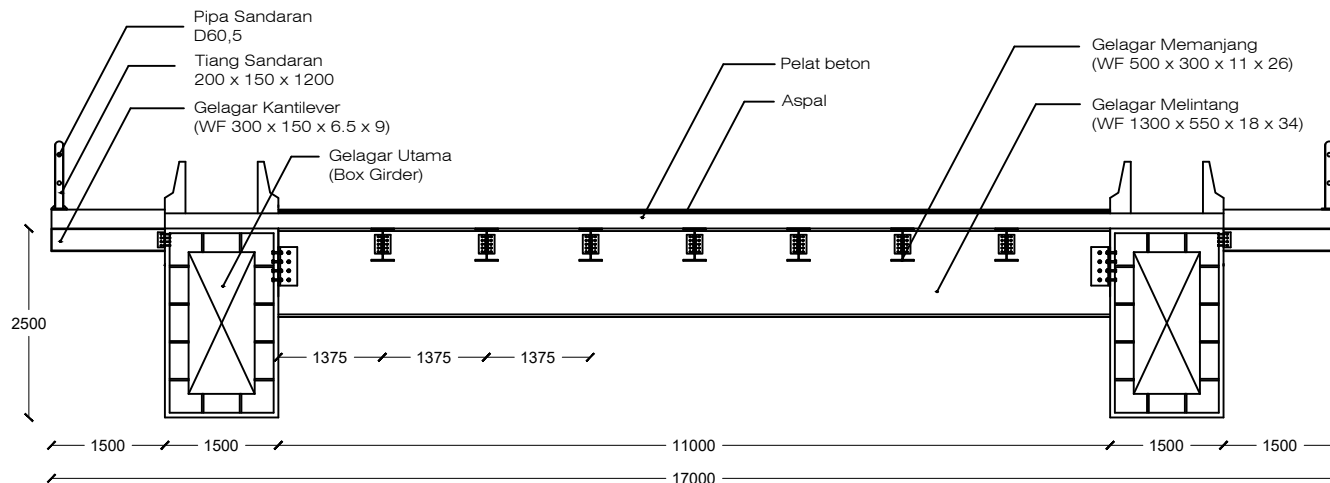
18

DOSEN PEMBIMBING

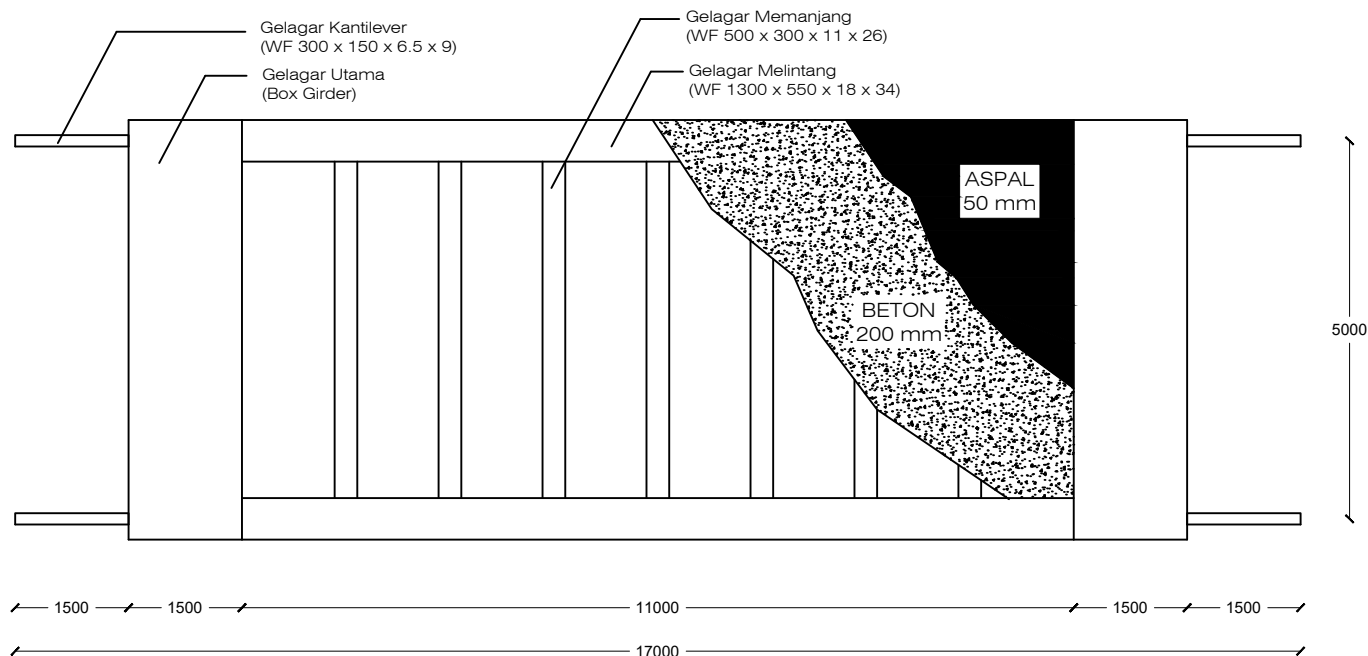
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Tampak Samping
1 : 100



Tampak Atas
1 : 100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

SEGMENT LANTAI KENDARAAN

SKALA

1 : 500

NO

4

JMLH

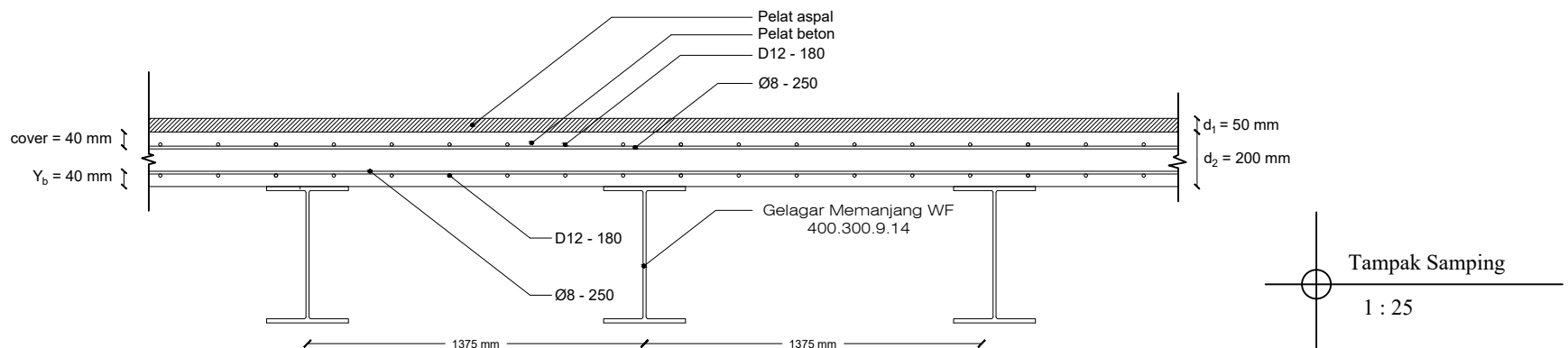
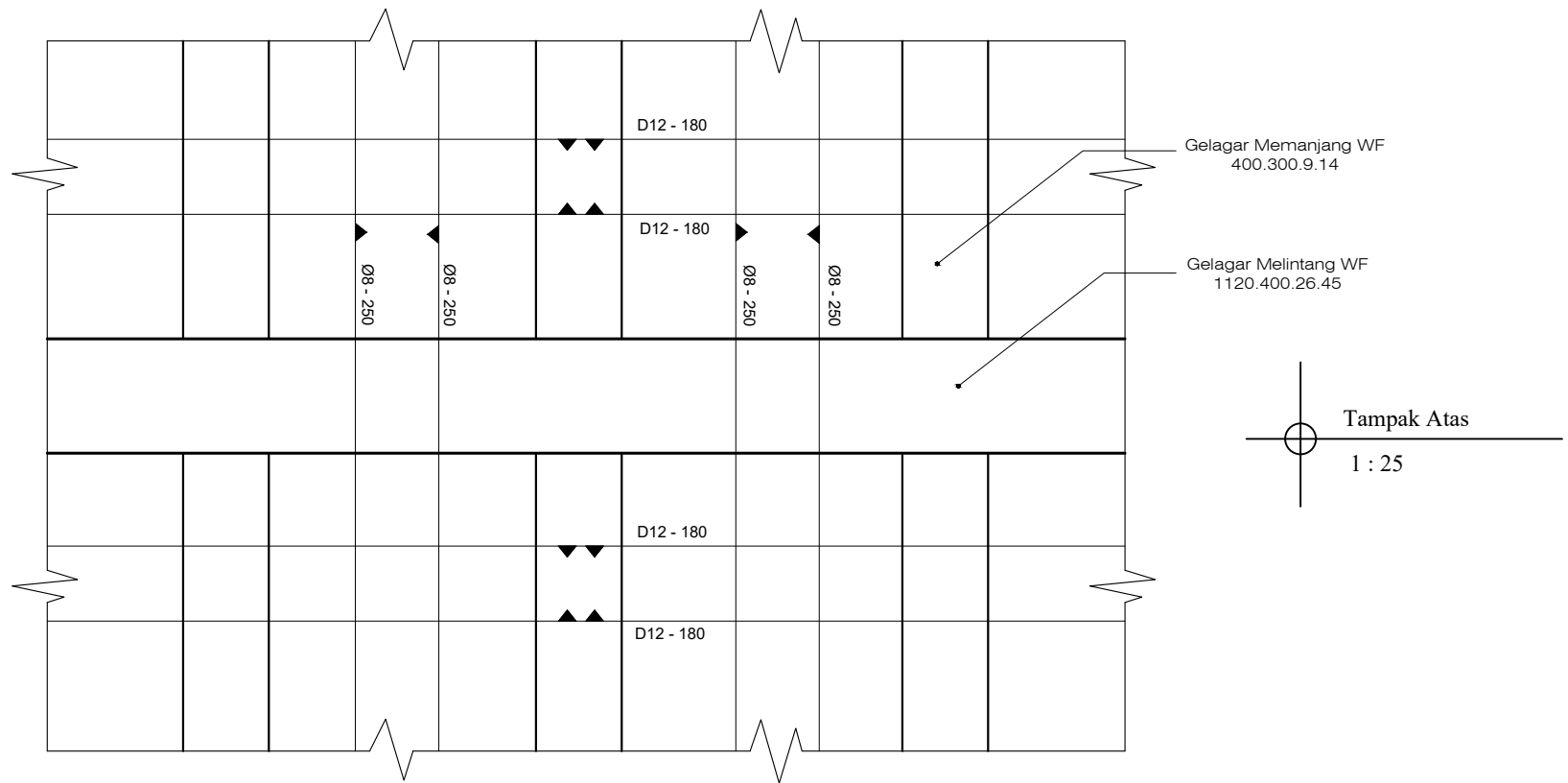
18

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE*
STAYED DENGAN *TWO VERTICAL PLANES*
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PELAT
LANTAI KENDARAAN

SKALA

1 : 25

NO

5

JMLH

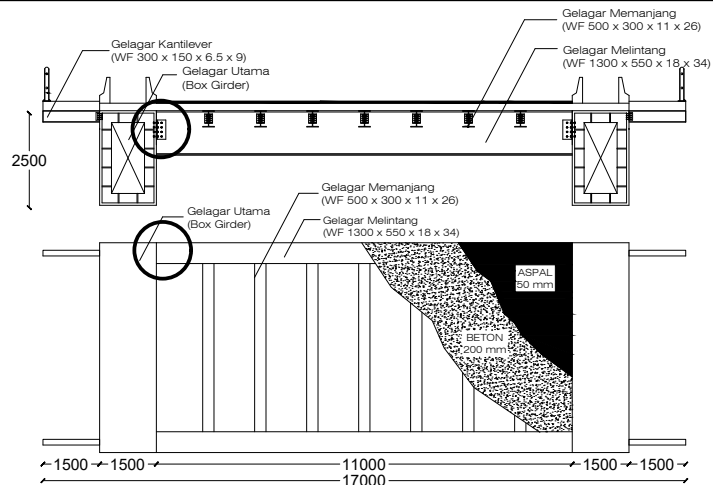
18

DOSEN PEMBIMBING

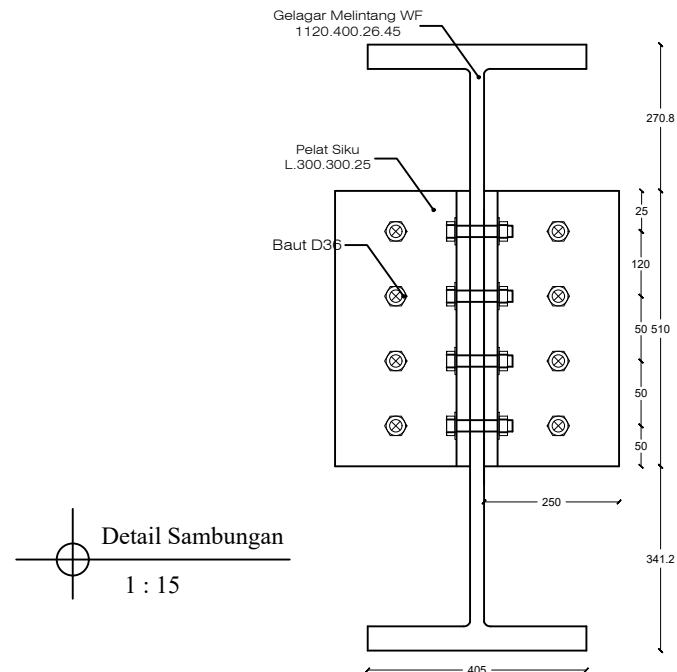
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137

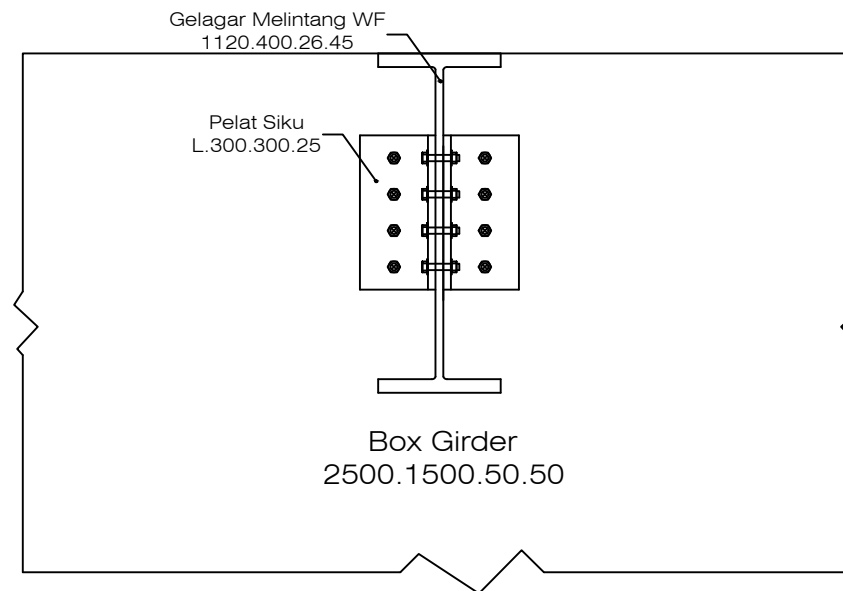


Keyplan



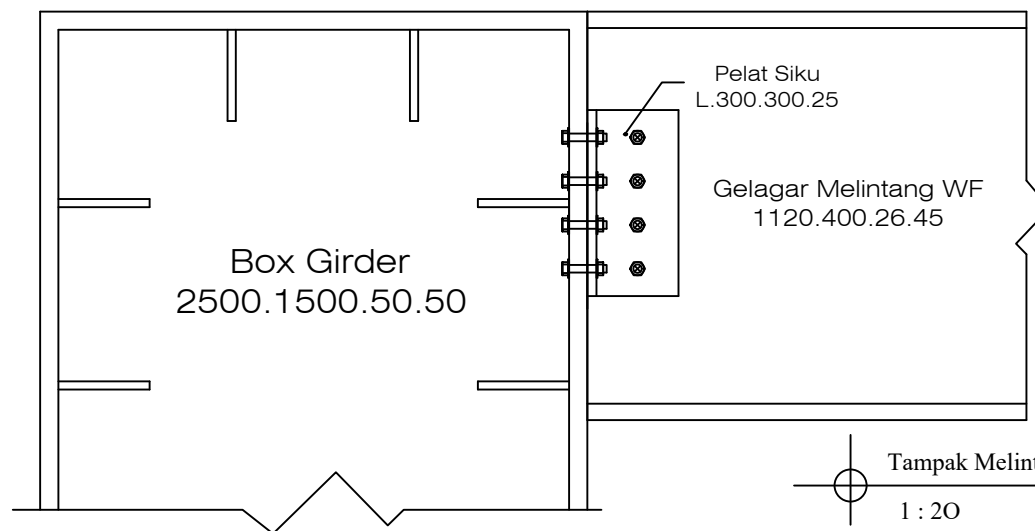
Detail Sambungan

1 : 15



Tampak Memanjang Sambungan

1 : 25



Tampak Melintang Sambungan

1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN GELAGAR
MELINTANG

SKALA

1 : 14
1 : 20
1 : 25

NO

6

JMLH

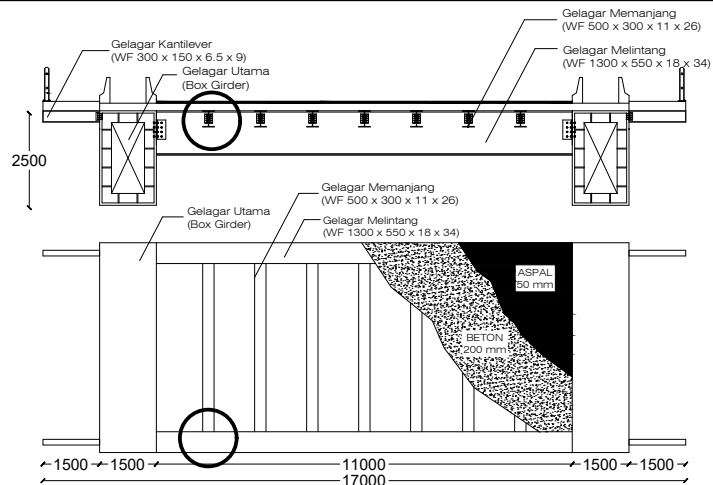
18

DOSEN PEMBIMBING

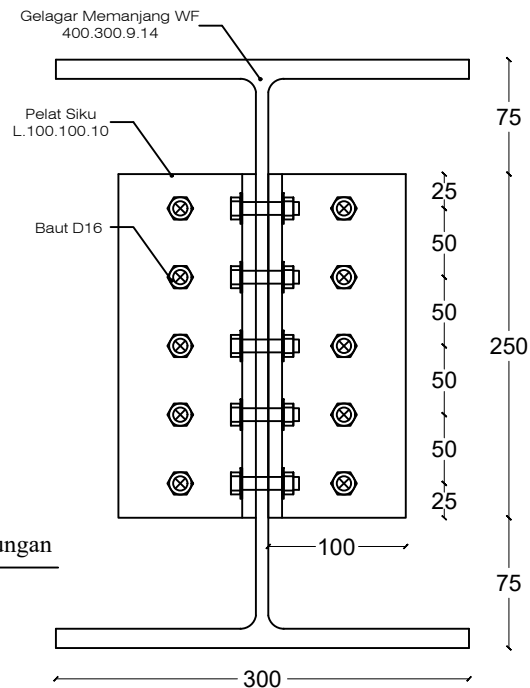
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137

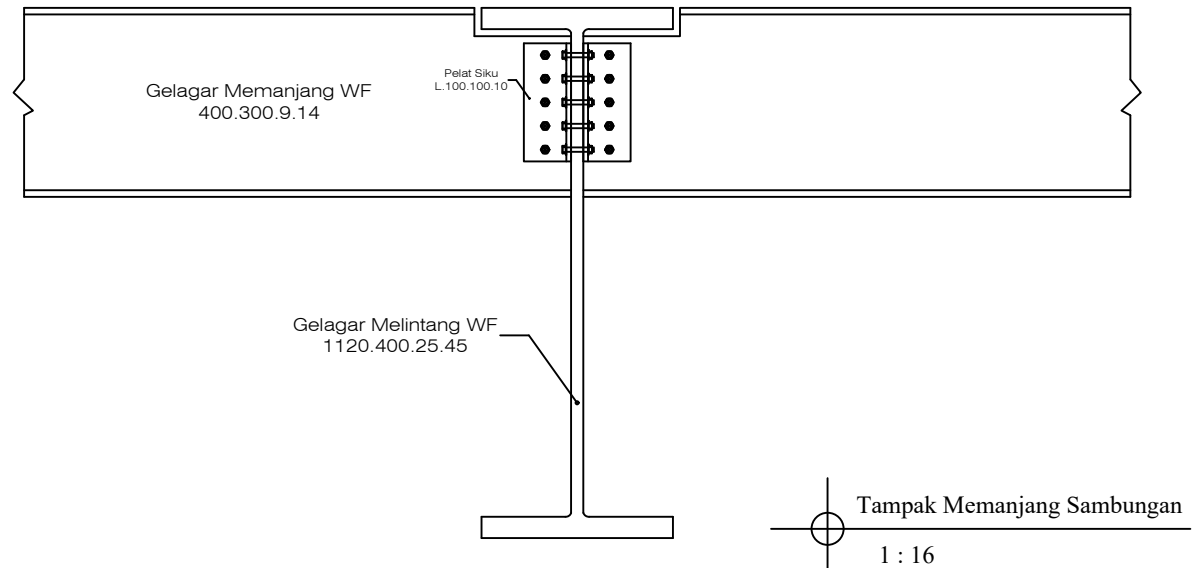


Keyplan



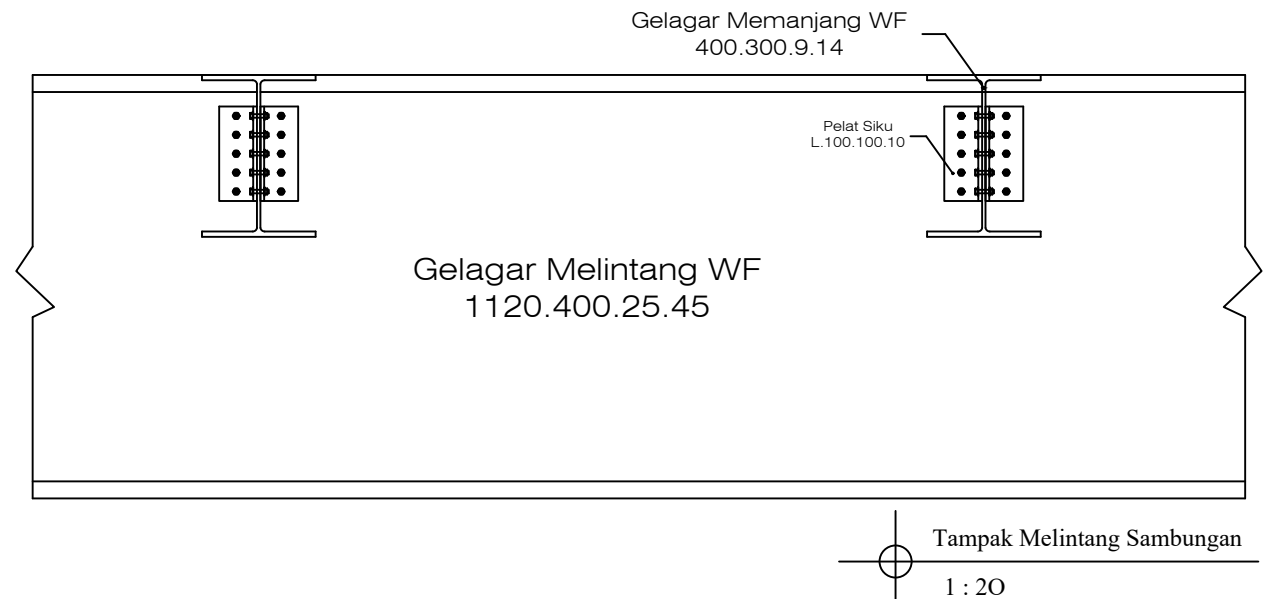
Detail Sambungan

1 : 5



Tampak Memanjang Sambungan

1 : 16



Tampak Melintang Sambungan

1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE*
STAYED DENGAN *TWO VERTICAL PLANES*
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN GELAGAR
MEMANJANG

SKALA

1 : 16
1 : 5
1 : 20

NO

7

JMLH

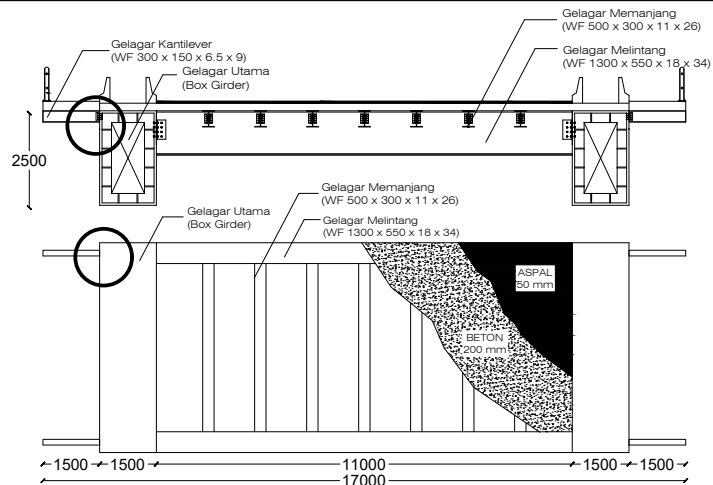
18

DOSEN PEMBIMBING

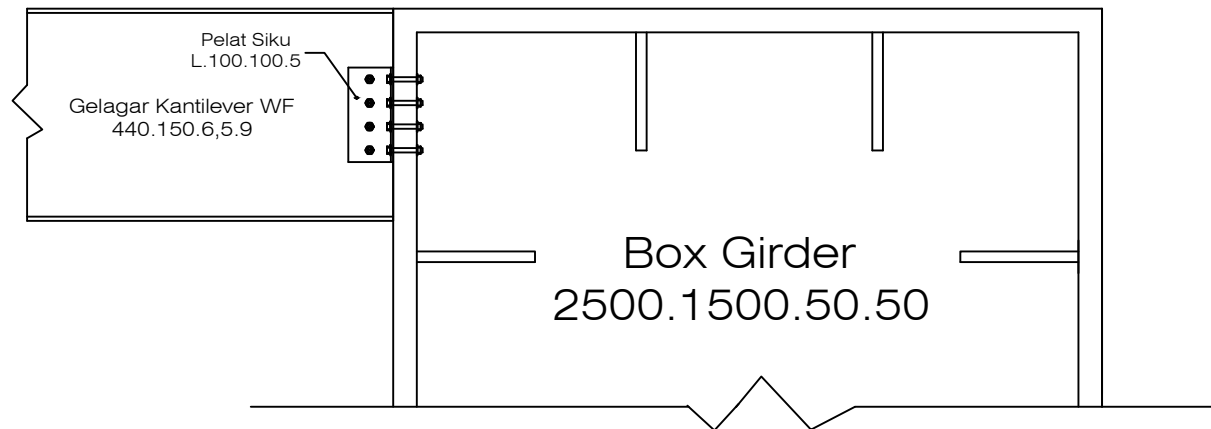
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

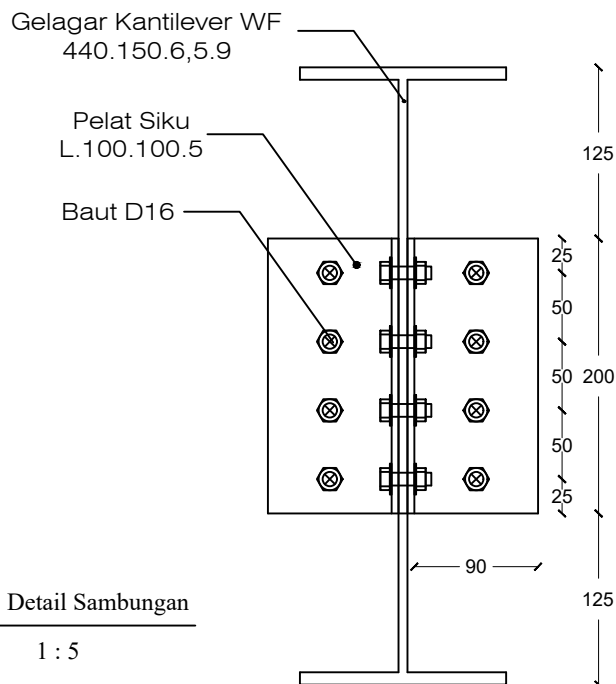
ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



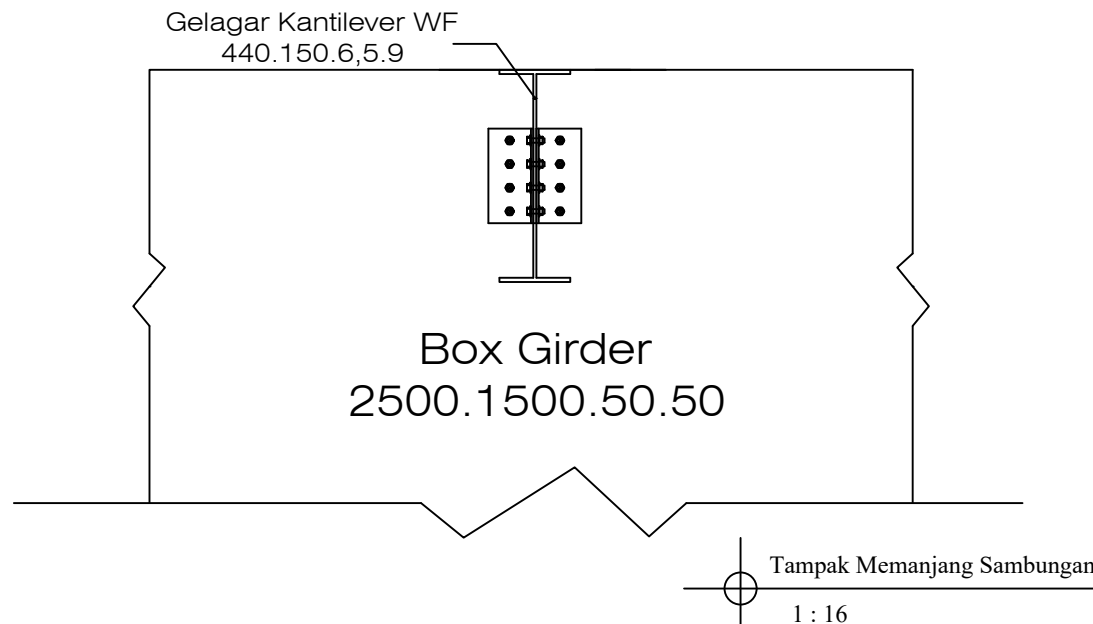
Keyplan



Tampak Melintang Sambungan
1 : 16



Detail Sambungan
1 : 5



Tampak Memanjang Sambungan
1 : 16



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBRATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM CABLE
STAYED DENGAN TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN GELAGAR
KANTILEVER

SKALA

1 : 16
1 : 5

NO

8

JMLH

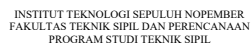
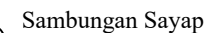
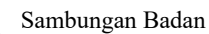
18

DOSEN PEMBIMBING

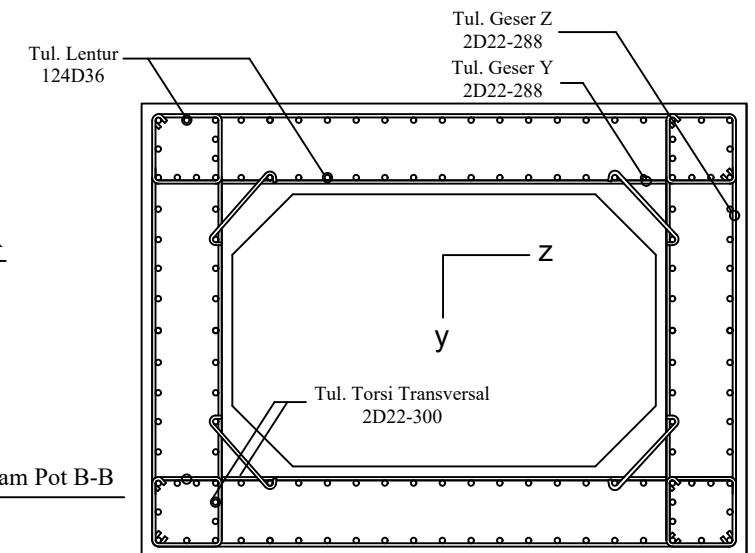
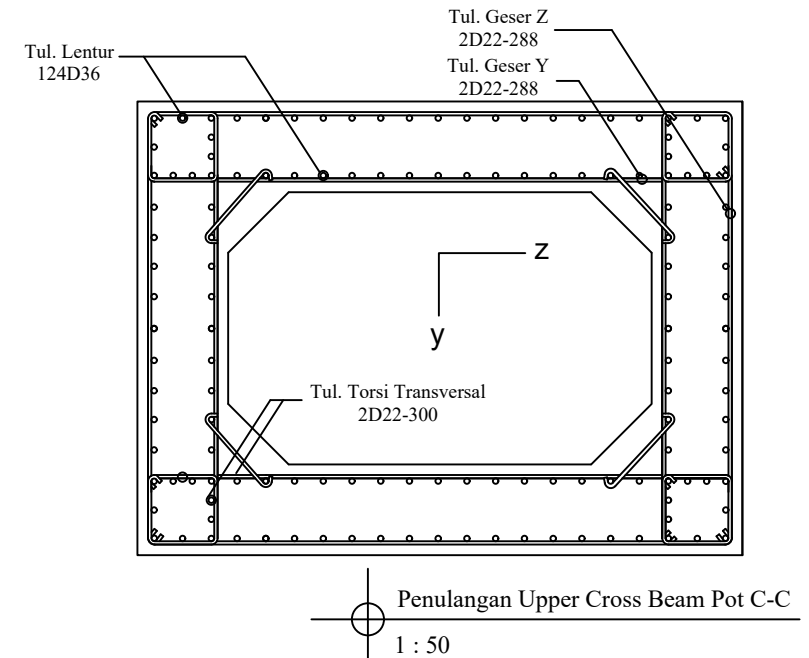
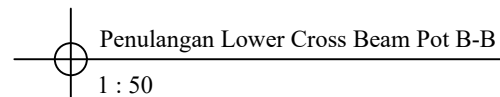
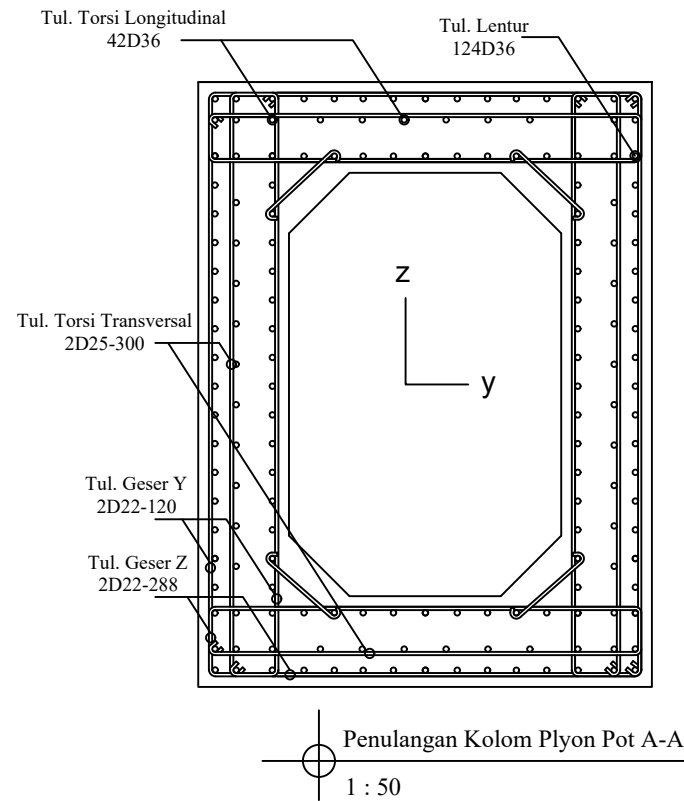
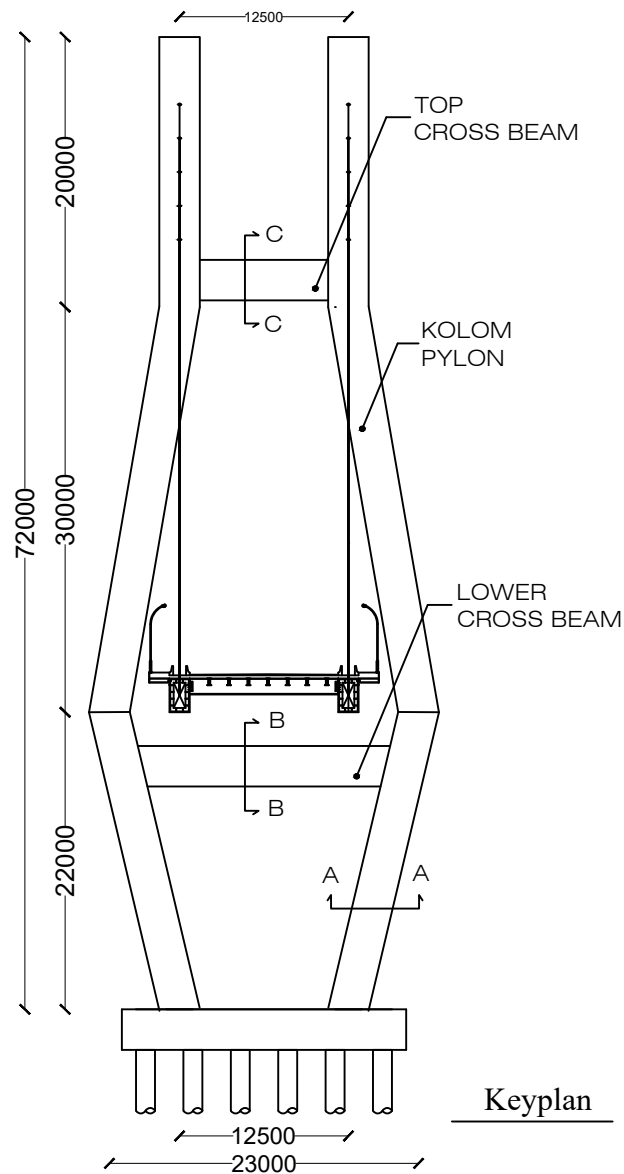
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



JUDUL TUGAS AKHIR	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA
MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM <i>CABLE STAYED</i> DENGAN <i>TWO VERTICAL PLANES SYSTEM</i>	SAMBUNGAN BOX GIRDER	1 : 25 1 : 45	9	ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD	ASHANDO H YUDHANTO 3113100137
			JMLH		
			18		



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE*
STAYED DENGAN *TWO VERTICAL PLANES*
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PYLON

SKALA

1 : 50

NO

10

JMLH

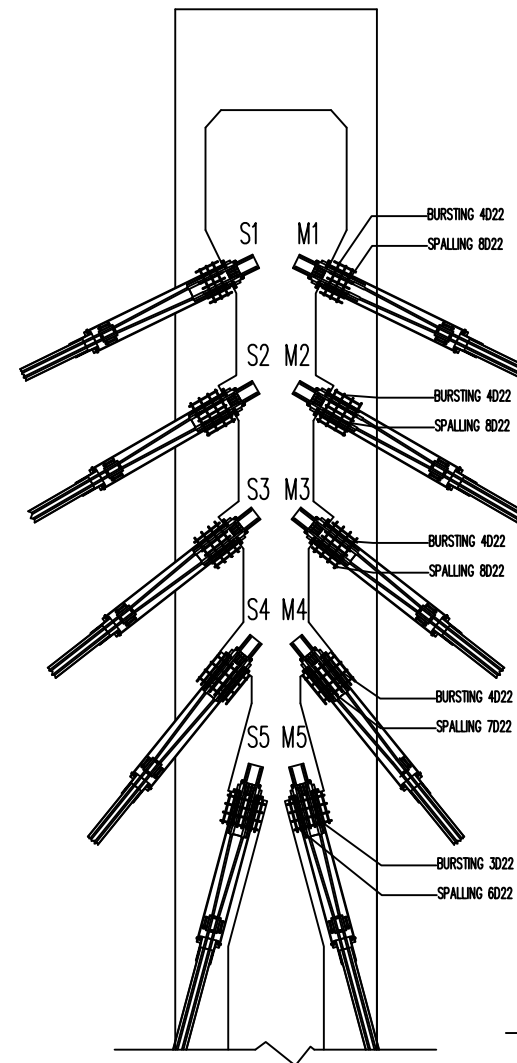
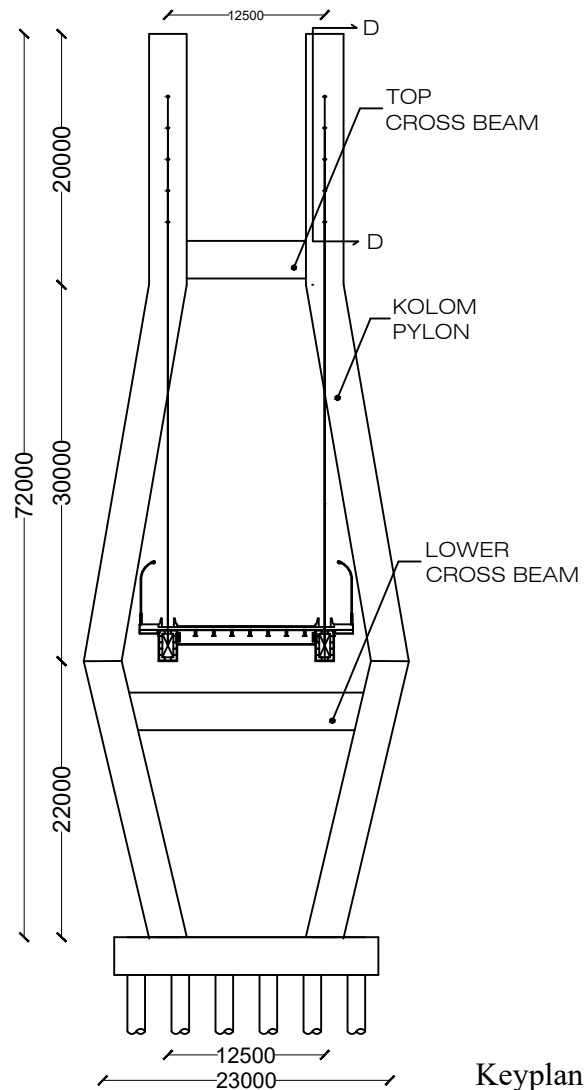
18

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

ANKER PADA PYLON

SKALA

1 : 150

NO

11

JMLH

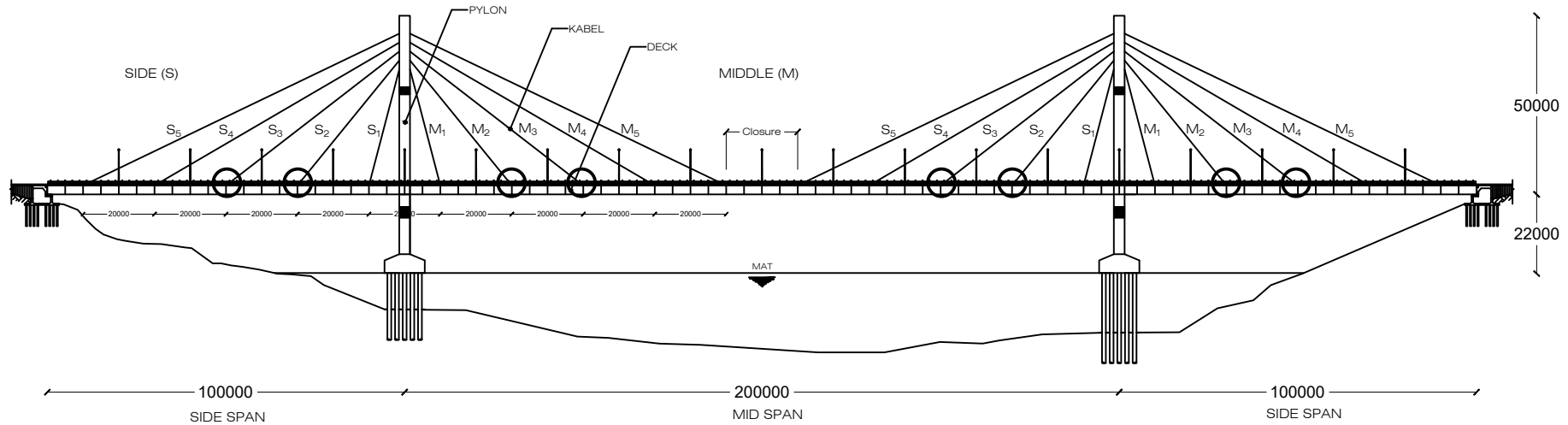
18

DOSEN PEMBIMBING

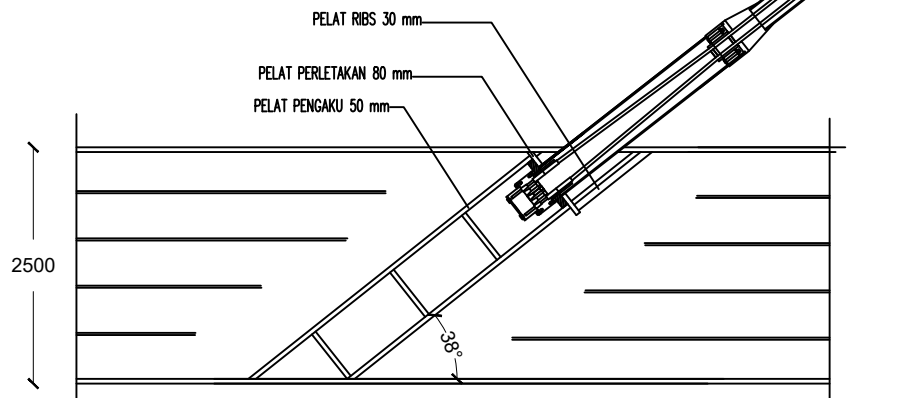
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

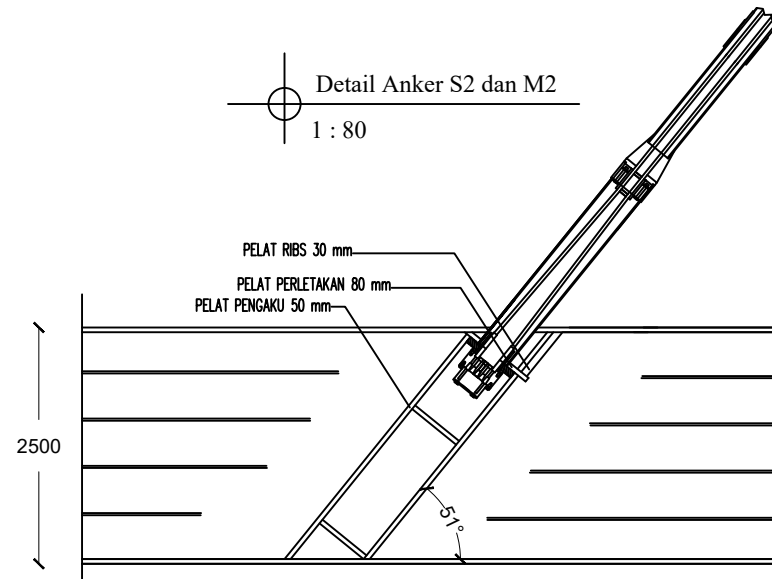
ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Detail Anker S3 dan M3
1 : 80



Detail Anker S2 dan M2
1 : 80



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES*
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

DETAIL ANKER KABEL

SKALA

1 : 80

NO

13

JMLH

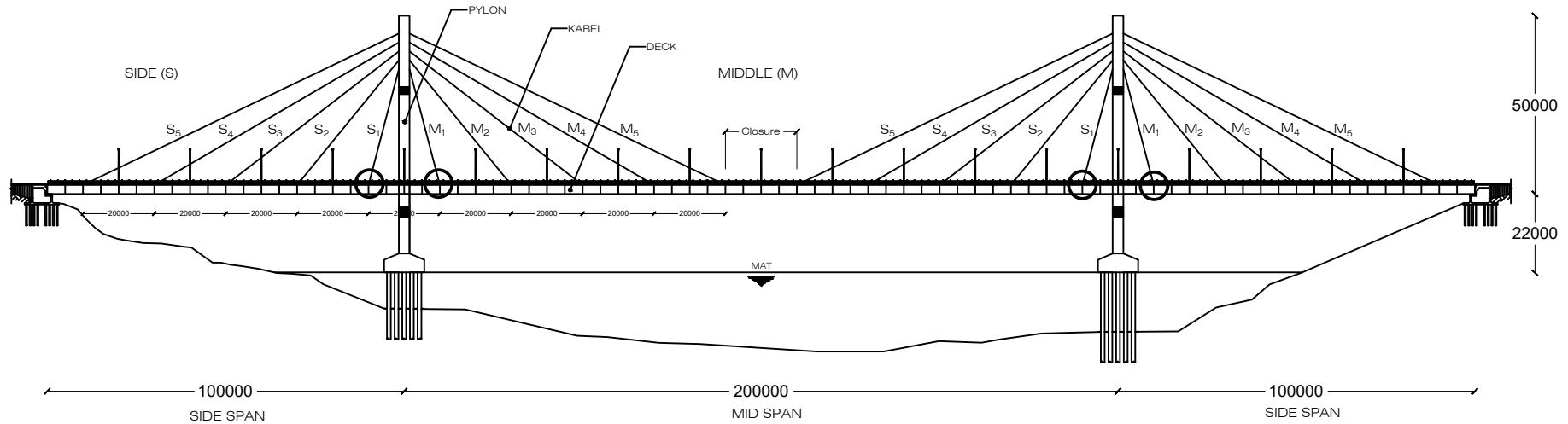
18

DOSEN PEMBIMBING

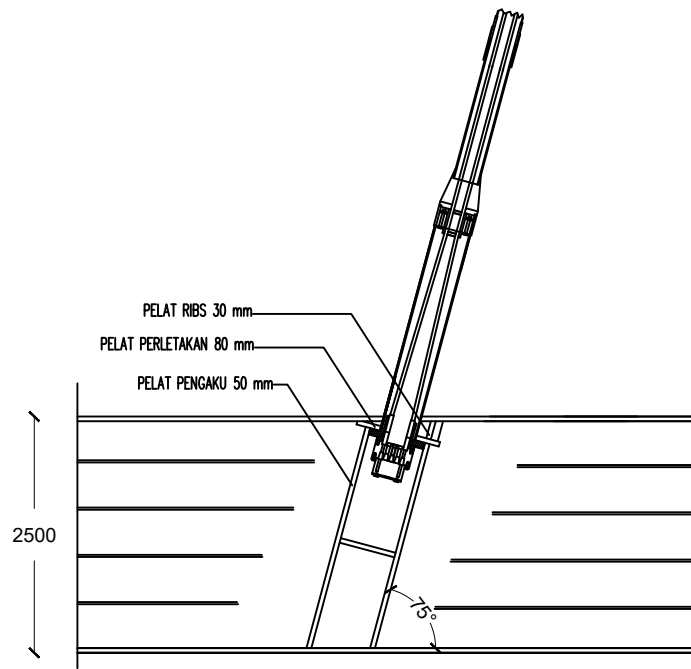
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Keyplan



Detail Anker S1 dan M1
1 : 80



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBRATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

DETAIL ANKER KABEL

SKALA

1 : 80

NO

14

JMLH

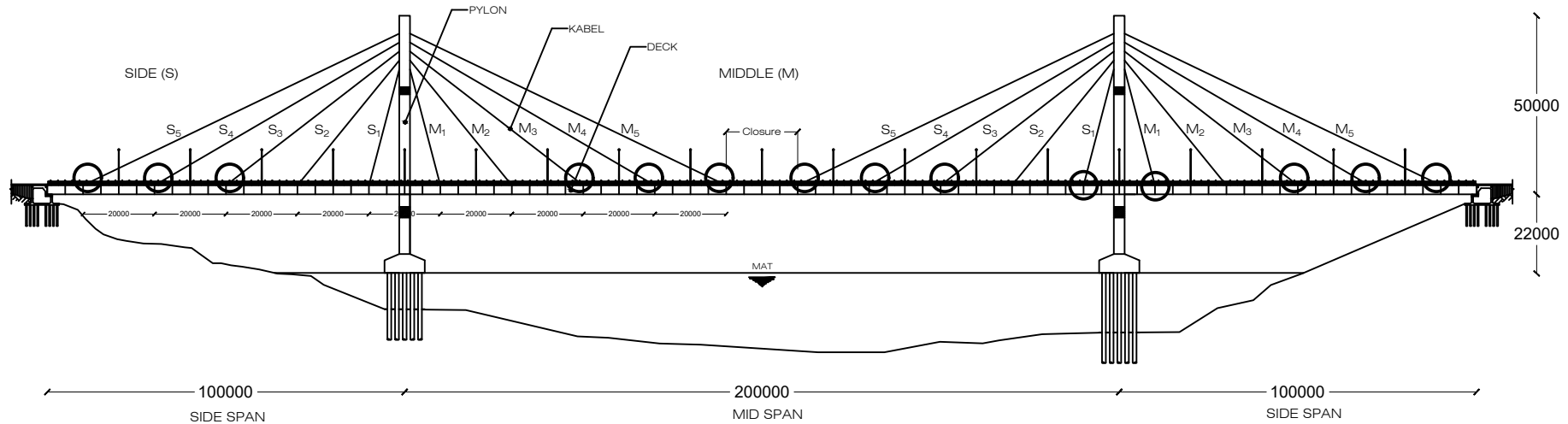
18

DOSEN PEMBIMBING

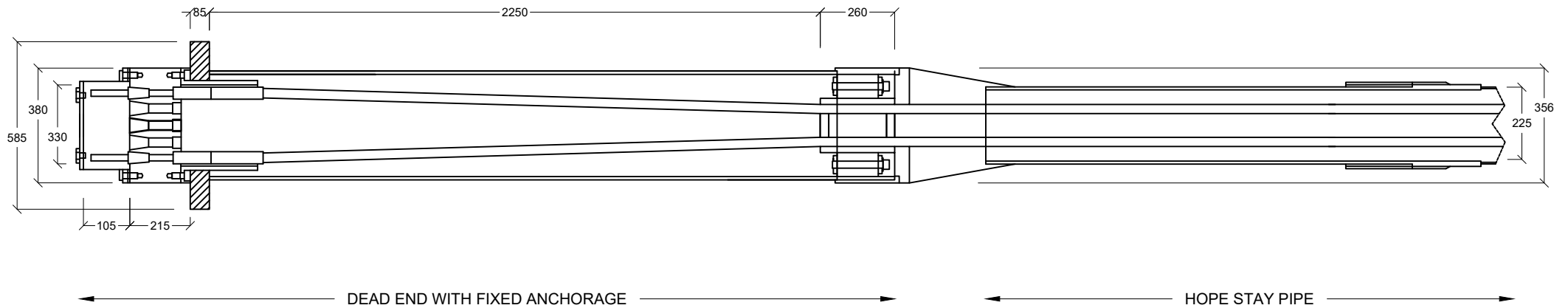
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Keyplan



Detail Kabel S₅, S₄, S₃, M₅, M₄, M₃
1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBRATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

DETAIL KABEL PADA DECK

SKALA

1 : 20

NO

15

JMLH

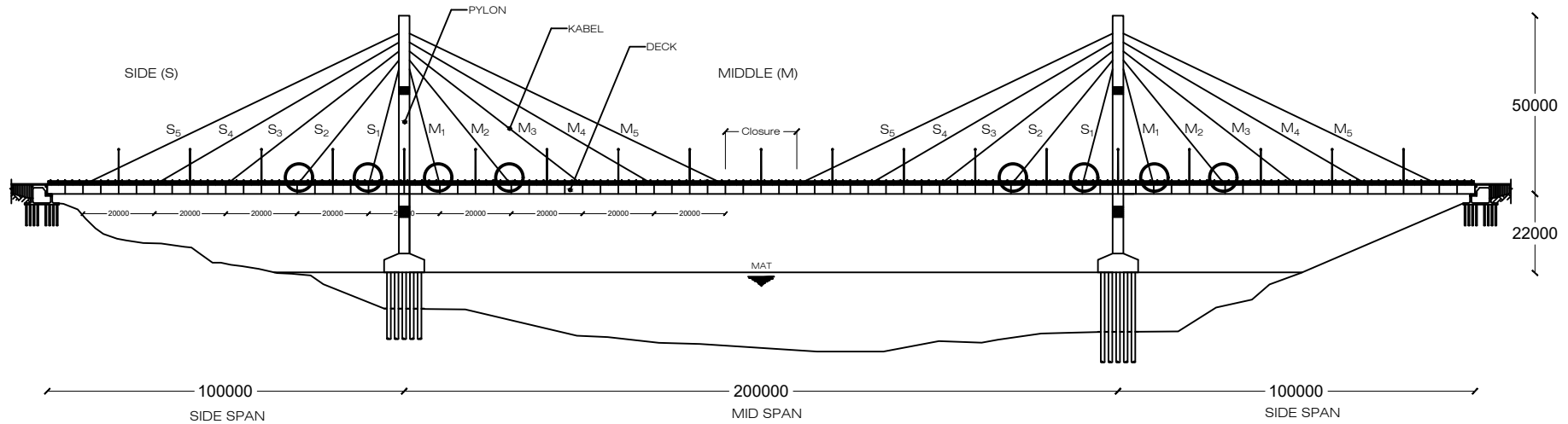
18

DOSEN PEMBIMBING

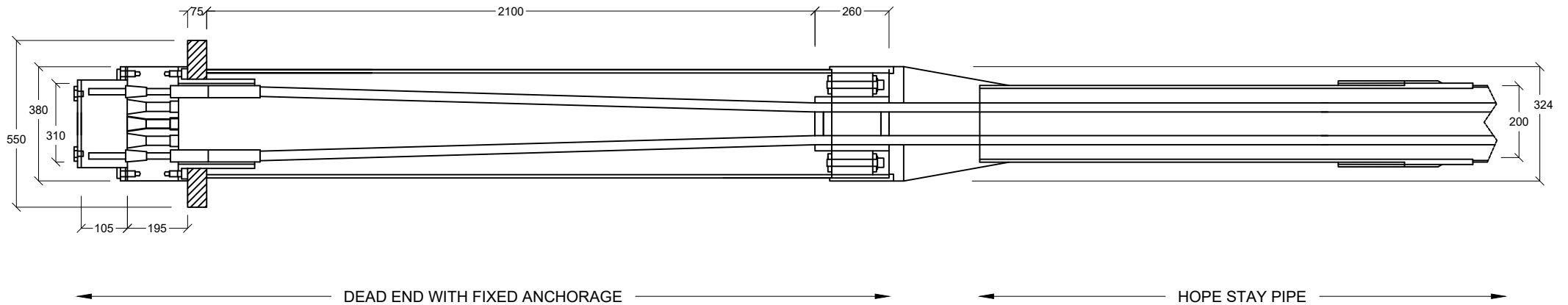
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Keyplan



Detail Kabel S2, S1, M2, M1
1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBRATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

DETAIL KABEL PADA DECK

SKALA

1 : 20

NO

16

JMLH

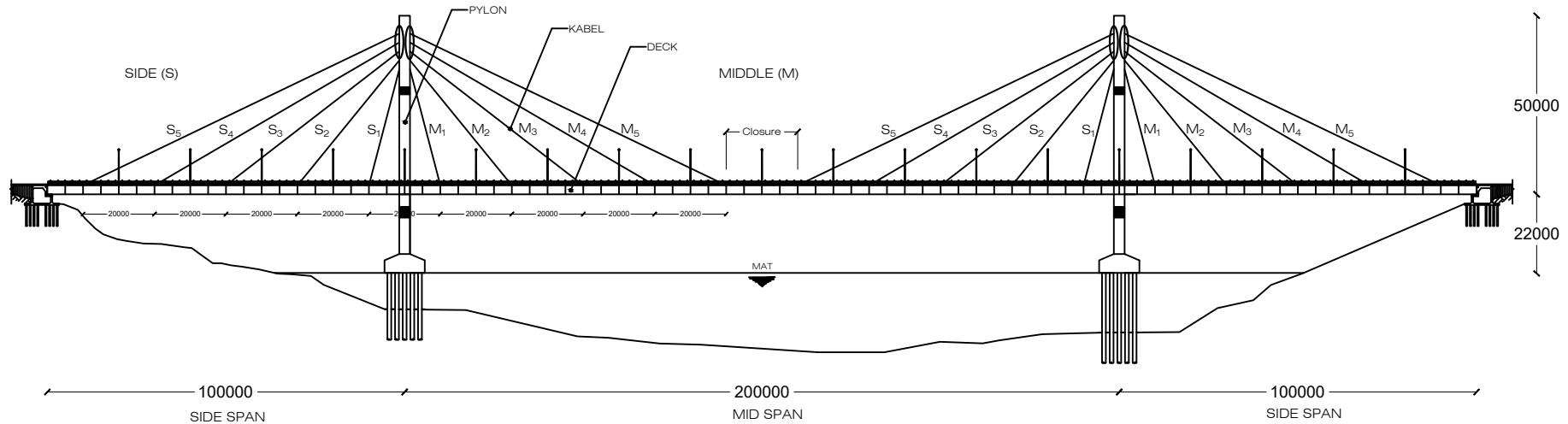
18

DOSEN PEMBIMBING

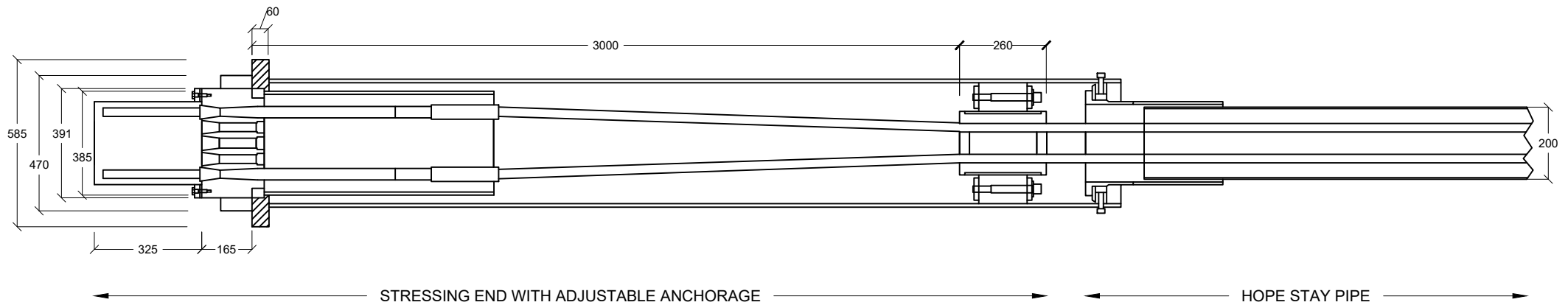
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Keyplan



Detail Kabel S5, S4, S3 M5, M4, M3

1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES*
SYSTEM

JUDUL GAMBAR

DETAIL KABEL PADA PYLON

SKALA

1 : 20

NO

17

JMLH

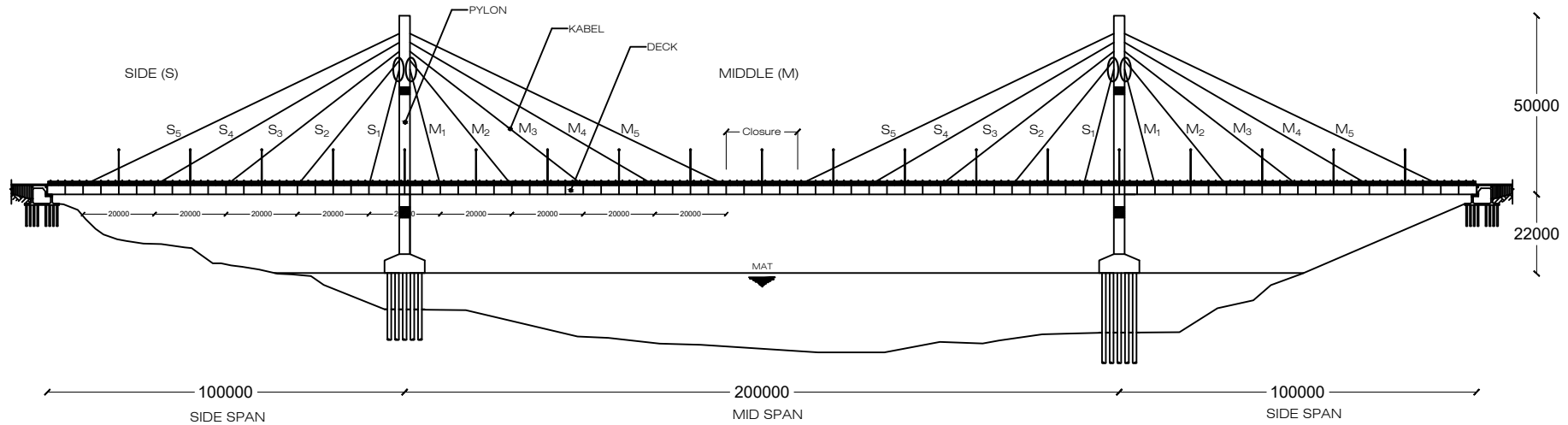
18

DOSEN PEMBIMBING

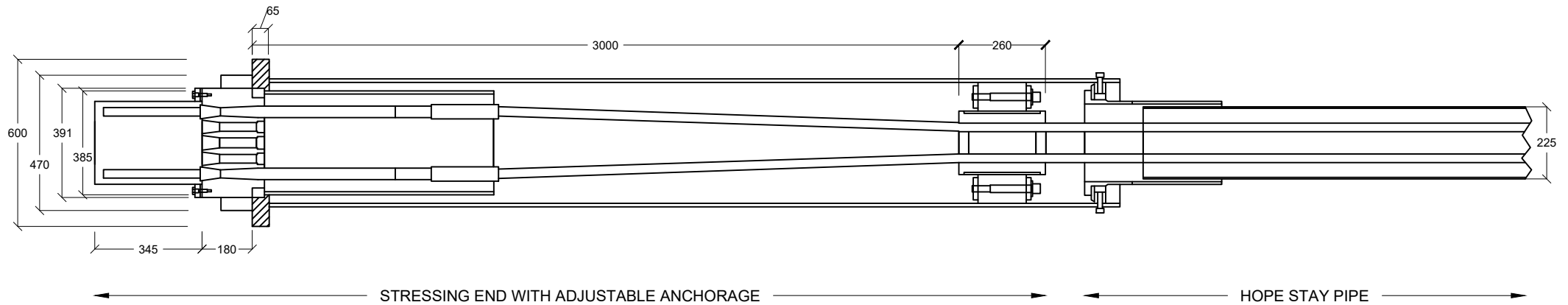
ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137



Keyplan



Detail Kabel S₂, S₁, M₂, M₁
1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MAHAKAM MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE
STAYED* DENGAN *TWO VERTICAL PLANES
SYSTEM*

JUDUL GAMBAR

DETAIL KABEL PADA PYLON

SKALA

1 : 20

NO

18

JMLH

18

DOSEN PEMBIMBING

ENDAH WAHYUNI, ST., MT., PhD

MAHASISWA

ASHANDO H YUDHANTO
3113100137

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Ashando Hario Yudhanto, lahir di Kupang 2 Desember 1994 yang merupakan putra dari pasangan Ir. H. Ashadi Basoeki, MT dan Hj Tri Hidajati. Sebelumnya penulis telah mengenyam pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Samarinda, SMPN 1 Samarinda, dan SMAN 1 Samarinda. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan diterima di Jurusan Teknik Sipil

pada tahun 2013. Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang struktur, dengan NRP 3113 100 137

Selama dalam masa perkuliahan, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi pengurus HMS FTSP ITS pada tahun kedua. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitian yang diselenggarakan oleh BEM ITS seperti YES SUMMIT pada tahun 2015 dan GERIGI ITS pada tahun 2014. Penulis dapat dihubungi melalui email

shandongageltama@gmail.com